جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي

توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)

Employing Virtual Laboratories in Teaching Programmable Logic Controllers from the Point of Field Experts

(Reality, Challenges, Expected effects)

إعداد

غنى فاروق توفيق شنطي

قدّمت هذه الرسالة استكمالا لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في تكنولوجيا التعليم والتعلُّم الإلكترونيّ

جامعة القدس المفتوحة (فلسطين)

تشرين ثاني 2025م

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي

توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)

Employing Virtual Laboratories in Teaching Programmable Logic Controllers from the Point of Field Experts

(Reality, Challenges, Expected effects)

إعداد

غنى فاروق توفيق شنطي

بإشراف

أ. د. حمدي يونس أحمد أبو جراد

قدّمت هذه الرسالة استكمالا لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في تكنولوجيا التعليم والتعلم الإلكتروني

جامعة القدس المفتوحة (فلسطين)

تشرين ثاني 2025م

قرار لجنة المناقشة

توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)

Employing Virtual Laboratories in Teaching Programmable Logic Controllers from the Point of Field Experts

(Reality, Challenges, Expected effects)

إعداد:

غنى فاروق شنطي

بإشراف:

أ. د. حمدي يونس أبو جراد

نوقشت هذه الرسالة وأجيزت في 2025/11/02م

أعضاء لجنة المُناقشة

أ.د. حمدي يونس أبو جراد	جامعة القدس المفتوحة	مشرفًا ورئيسًا	.....
أ. د. مجدي "محمد رشيد" حناوي	جامعة القدس المفتوحة	عضوًا	.....
د. عبد الرحمن محمد أبو سارة	وزارة التربية والتعليم العالي	عضوًا	.....

التفويض

أنا الموقعة أدناه غنى فاروق توفيق شـــنطي؛ أفوّض جامعة القدس المفتوحة بتزويد نســـخ من رســالتي للمكتبات، أو المؤســسـات، أو الهيئات، أو الأشــخاص، عند طلبهم بحســب التعليمات المعمول بها في الجامعة.

وأقر بأنني قد التزمت بقوانين جامعة القدس المفتوحة وأنظمتها وتعليماتها وقراراتها الســـارية المعمول بها والمتعلقة بإعداد رسائل الماجستير عندما قمت شخصيًا بإعداد رسالتي الموسومة بـ: "توظيف المختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)"، وذلك بما ينســـجم مع الأمانة العلميّة المُتعارف عليها في كتابة الرسائل العلميّة.

الاسم: غنى فاروق توفيق شنطي

الرقم الجامعي: 0330012220165

التوقيع: .....

التاريخ: 2025/11/02م

الإهداء

إلى كُلِّ روحٍ لا تزالُ تُلبي نداءَ اللهِ الأول: "ٱقۡرَأۡ" ...

إلى من غرسوا فيّ أول بذور الطموح، وكانوا دائمًا مصدرًا للدفء والأمان، أمي –حفظها الله–، وأبي –رحمه الله–؛

إلى السندِ والعضُد، إخوتي وأختي؛

إلى بهجة القلب وضحكة المستقبل، براعم عائلتنا الغالية: أبناء وبنات إخوتي وأختي؛

إلى من رافقوني في رحلتي فكانوا نجومًا أستضيء بها، من بداية المسير إلى ما بعد الوصول؛

إلى كل أُستاذٍ وأُستاذة، ومُعَلِّمٍ ومُعَلِّمَة، غرسوا فيَّ حُبَّ البحث وشغف المعرفة؛

إلى كُلِّ مُهَندِسٍ ومُهَندِسَة، وفَنِّيٍّ وفَنِّيَّة، يسعون لسد الفجوة بين النظريّة والتطبيق؛

إلى طلاب وطالبات المستقبل، الذين أرجو أن يُسهم هذا الجهد المتواضع في إضاءة جزء من طريقهم.

إليكم جميعًا ... أُهدي هذا العمل.

الباحثة: غنى فاروق

الشكر والتقدير

الحمد لله حمدًا كثيرًا طيبًا مباركًا فيه، الذي بنعمته تتم الصالحات، وبتوفيقه تتحقق الغايات، فله الحمد أولًا وآخرًا على ما يسّر وأعان في إتمام هذا البحث.

وبعد، فلا يسعني في هذا المقام إلا أن أتقدم بجزيل الشكر والعرفان، وأسمى آيات التقدير والامتنان إلى مُشرِفِ هذا البحث ومرشده، أ.د. حمدي يونس أحمد أبو جراد، الذي لم يبخل عليّ بوقته وجهده وعلمه. فلقد كانت توجيهاته السديدة، وملاحظاته القيّمة، وصبره اللامحدود، نبراسًا أضاء لي الطريق منذ أن كان البحث فكرة حتى رأى النور. فله مني كل الاحترام والتقدير.

كما أتوجه بخالص الشكر والتقدير إلى أعضاء لجنة المناقشة الكرام، أ.د. مجدي حناوي، د. عبد الرحمن أبو سارة على تفضلهما بقبول مناقشة هذه الرسالة، وعلى ما سيقدمونه من آراء وملاحظات قيّمة ستسهم بلا شك في إثراء هذا العمل وإخراجه في أفضل صورة.

وأتقدم بوافر الشكر والامتنان إلى عمادة كلية الدراسات العُليا وإلى رئاسة قسم تكنولوجيا التعليم والتعلُّم الإلكترونيّ، وإلى جميع أساتذتي الأفاضل على ما نهلت من علمهم طوال فترة دراستي.

ويطيب لي في هذا المقام أن أتقدم بامتنان عميق وتقدير خاص إلى نخبة من خبراء المجال، الذين كانوا حجر الزاوية في هذا البحث. فلولا خبراتهم الثمينة، وآرائهم العميقة التي منحوني إياها بسخاء؛ لما كان لهذا البحث أن يكتمل. وأخص بالشكر والتقدير الخبراء والزملاء الذين شرفوني بمشاركتهم من مختلف الصروح العلمية الفلسطينيّة الرائدة، وهي:

جامعة بيرزيت، جامعة النجاح الوطنيّة، جامعة فلسطين الأهليّة، جامعة بوليتكنك فلسطين، جامعة القدس (أبو ديس)، الجامعة العربيّة الأمريكيّة، جامعة فلسطين التقنيّة (خضوري)، جامعة الزيتونة

للعلوم والتكنولوجيا، الكليّة العصريّة الجامعيّة، الكليّة الذكيّة للتعليم الحديث، كليّة هشام حجاوي التكنولوجيّة، ومعهد الساليزيان.

فإليهم جميعًا خالص الشكر على وقتهم الثمين ومساهمتهم القيّمة التي أثرت هذا العمل.

والشكر موصول إلى من كانوا السند الحقيقيّ والدعم الذي لا ينضب؛ إلى والديّ الكريمين، وإلى أختي وإخوتي الذين كانوا خير عون وسند، وإلى كُلِّ مَنْ رافَقَني في هذِهِ الرِّحلةِ بِصِدقٍ وإخلاص.

وفي الختام، أتقدم بالشكر لكل صديق وزميل قدم لي يد العون أو كلمة تشجيع.

الباحثة: غنى فاروق

قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة
قرار لجنة المناقشة	ج
التفويض	د
الإهداء	هـ
الشكر والتقدير	و – ز
قائمة المحتويات	ح – ك
قائمة الجداول	ل
قائمة الأشكال	م
قائمة الملاحق	ن
الملخص باللغة العربيّة	س– ع
الملخص باللغة الإنجليزيّة	ف – ص
الفصل الأول: خلفيّة الدراسة ومشكلتها	1–12
المقدمة	
مشكلة الدراسة وأسئلتها	
أهداف الدراسة	
أهمية الدراسة	
حدود الدراسة ومحدداتها	
التعريفات الاصطلاحيّة والإجرائيّة	
الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة	13–109
الإطار النظري	
المحور الأول: المختبرات الافتراضيّة	
مقدمة للمختبرات الافتراضيّة (المفهوم، النشأة، الأهميّة)	
مفهوم المختبرات الافتراضيّة (التعريفات)	
أهمية وأهداف المختبرات الافتراضيّة	
مزايا المختبرات الافتراضيّة	
أنواع وتصنيفات المختبرات الافتراضيّة	
نماذج وتجارب الدولية في مجال المختبرات الافتراضيّة	
مكونات المختبرات الافتراضيّة	

الأسس والنماذج النظريّة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة
المختبرات الافتراضيّة ومبادئ التصميم الشامل للتعلم (UDL)
الأبعاد المؤثرة على توظيف المختبرات الافتراضيّة
معوقات وتحديات استخدام المختبرات الافتراضيّة
المحور الثاني: المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (PLC)
مفهوم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
تاريخ نشأة وتطور المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة
أهمية المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
مميزات المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
مكونات المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
أنواع المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
كيفية عمل المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
العوامل المؤثرة على المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
نظريات ومفاهيم تربويّة وتقنيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
التحديات التي تواجه المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
نماذج من بيئات المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة
الصعوبات والتحديات في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة عبر المختبرات الافتراضيّة
الدراسات السابقة ذات الصلة
الدراسات المتعلقة بتوظيف المختبرات الافتراضيّة (الواقع، التحديات، الآثار المتوقعة)
عرض الدراسات السابقة (الخاصة بالمحور الأول)
التعقيب على الدراسات المتعلقة بتوظيف المختبرات الافتراضيّة
الدراسات المتعلقة بتنمية مهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
عرض الدراسات السابقة (الخاصة بالمحور الثاني)
التعقيب على الدراسات المتعلقة بتنمية مهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة
موقع البحث الحالي وأوجه الإفادة من الدراسات السابقة
الفصل الثالث: الطريقة والإجراءات 135-110
منهجية الدراسة
مجتمع الدراسة وعينتها
العيّنة الاستطلاعيّة

عيّنة الدّراسة الأساسيّة (الكميّة والنوعيّة)
أدوات الدراسة وخصائصها
الأداة الكميّة: الاستبانة
صدق الاستبانة
ثبات الاستبانة
الأداة النوعيّة: المقابلة شبه المنظمة
تصميم دليل المقابلة ومساراتها
موثوقيّة الأداة النوعيّة
متغيرات الدراسة
أخلاقيات الدراسة
إجراءات تنفيذ الدّراسة
المعالجات الإحصائية
الفصل الرابع: عرض نتائج الدراسة 163-136
النتائج المتعلقة بأسئلة الدراسة
النتائج المُتعلقة بالسؤال الأول (الواقع)
النتائج الكميّة بالسؤال الأول
النتائج النوعيّة بالسؤال الأول
النتائج المُتعلقة بالسؤال الثاني (التحديات)
النتائج الكميّة بالسؤال الثاني
النتائج النوعيّة بالسؤال الثاني
النتائج المُتعلقة بالسؤال الثالث (الآثار المتوقعة)
النتائج الكميّة بالسؤال الثالث
النتائج النوعيّة بالسؤال الثالث
النتائج المُتعلقة بالسؤال الرابع (التصوّر المقترح)
التوصيات التقنية واختيار البيئة الأنسب
ملامح التصوّر المقترح وهيكليته
الخطّة التنفيذيّة المفصّلة للتصوّر المُقترح
النتائج المُتعلقة بفرضيات الدراسة
النتائج المُتعلقة بالفرضيّة الأولى (متغير طبيعة العمل)
النتائج المُتعلقة بالفرضيّة الثانية (متغير سنوات الخبرة السابقة)

الفصل الخامس: تفسير النتائج ومناقشتها 186-164

تفسير نتائج أسئلة الدّراسة ومناقشتها

تفسير نتائج السؤال الأول ومناقشتها

تفسير نتائج السؤال الثاني ومناقشتها

تفسير نتائج السؤال الثالث ومناقشتها

تفسير نتائج السؤال الرابع ومناقشتها

تفسير نتائج فرضيّات الدراسة ومناقشتها

تفسير نتائج الفرضيّة الأولى (متغير طبيعة العمل) ومناقشتها

تفسير نتائج الفرضيّة الثانيّة (متغير سنوات الخبرة السابقة) ومناقشتها

الاستنتاجات

التوصيات

توصيات موجهة إلى الإدارات العليا وصناع القرار في الجامعات

توصيات موجهة إلى الأقسام الأكاديمية وأعضاء هيئة التدريس

توصيات موجهة للباحثين في المستقبل

مُقترحات لدراسات مستقبليّة

المصادر والمراجع 206-187

المراجع العربيّة

المراجع الأجنبيّة

الملاحق 288-207

قائمة الجداول

الجدول	موضوع الجدول	الصفحة
1.3	توزيع أفراد العينة الأساسيّة للدراسة وفقًا لمتغيراتهم الديموغرافيّة	113
2.3	الجذر الكامن ونسب التباين المفسّرة للعوامل المستخلصة من نتائج التحليل العاملي الاستكشافي	119
3.3	مصفوفة العوامل بعد التدوير المائل وتشبعات الفقرات على العوامل الثلاثة المستخلصة	120
4.3	قيم معاملات ارتباط بيرسون لكل فقرة بالمحور الأول: واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة الذي تنتمي إليه، وكذلك ارتباطها بالدرجة الكلية للمقياس.	122
5.3	قيم معاملات ارتباط بيرسون لكل فقرة بالمحور الثاني: تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة الذي تنتمي إليه، وكذلك ارتباطها بالدرجة الكلية للمقياس.	123
6.3	قيم معاملات ارتباط بيرسون لكل فقرة بالمحور الثالث: الآثار المستقبليّة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة الذي تنتمي إليه، وكذلك ارتباطها بالدرجة الكلية للمقياس.	124
7.3	مصفوفة معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد الاستبانة والدرجة الكليّة	125
8.3	قيم معامل ثبات كرونباخ ألفا لأبعاد الاستبانة وللأداة ككل	126
1.4	توزيع فئات المقياس الخماسي لتفسير المتوسطات الحسابيّة	137
2.4	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة مرتبة تنازليًا	138
3.4	تكرارات الأكواد النوعيّة المُتعلقة بـ"واقع التوظيف"	139
4.4	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة مرتبة تنازليًا	141
5.4	تكرارات الأكواد النوعيّة المُتعلقة بـ"تحديات التوظيف"	143
6.4	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور الآثار لتوظيف المختبرات الافتراضيّة مرتبة تنازليًا	145
7.4	تكرارات الأكواد النوعيّة المُتعلقة بـ"الآثار المتوقعة"	146
8.4	نتائج اختبار "ت" لدلالة الفروق في تصوّر واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تبعًا لمتغير طبيعة العمل	160
9.4	نتائج اختبار تحليل التباين الأحادي (ANOVA) لدلالة الفروق في تصوّر واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تبعًا لمتغير سنوات الخبرة السابقة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة	162

قائمة الأشكال

الرقم	موضوع الشكل	الصفحة
1	مكونات المختبرات الافتراضيّة	29
2	المكونات الصلبة للمتحكم المنطقي القابل للبرمجة	53
3	الرسم البياني (scree plot) للجذور الكامنة للعوامل المستخلصة قبل التدوير	117

قائمة الملاحق

الرقم	عنوان المُلحق	الصفحة
أ	الأداة الكميّة للدارسة قبل التحكيم	208
ب	الأداة النوعيّة للدارسة قبل التحكيم	214
ت	قائمة المُحكِّمين	222
ث	الأداة النوعيّة بعد التحكيم (الصدق الظاهريّ)	223
ج	الأداة الكميّة بعد التحكيم (الصدق الظاهريّ)	230
ح	الأداة الكميّة بعد إجراء فحص الخصائص السيكومتريّة	236
خ	كُتب تسهيل المهمة	242
د	الأداة الكميّة في صورتها النهائيّة	245
ذ	الأداة النوعيّة في صورتها النهائيّة	251
ر	تحليل لبعض آراء الأكاديميين المُستخدمين	257
ز	تحليل لبعض آراء الأكاديميين غير المُستخدمين	262
س	تحليل لبعض آراء الإداريين	267
ش	موثوقيّة الأداة النوعيّة – أدلة تحقيق المصداقية (Credibility)	270
ص	موثوقيّة الأداة النوعيّة – أدلة تحقيق قابلية النقل (Transferability)	278
ض	موثوقيّة الأداة النوعيّة – مسار المراجعة والتدقيق لتحقيق الاعتمادية (Dependability)	282
ط	موثوقيّة الأداة النوعيّة – مسار المراجعة والتدقيق لتحقيق قابلية التأكيد (Confirmability)	284

الملخص باللغة العربيّة

توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)

إعداد: غنى فاروق توفيق شنطي

بإشراف: أ. د. حمدي يونس أحمد أبو جراد

2025

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى الكشف عن واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في الجامعات الفلسطينيّة، واستقصاء أبرز التحديات التي تواجه هذا التوظيف، إضافة إلى تحليل الآثار المتوقعة لاعتمادها في العمليّة التعليميّة، وذلك من وجهة نظر خبراء المجال، تمهيدًا لتقديم تصور مقترح يساهم في تفعيل استخدامها بفاعليّة وكفاءة. ولتحقيق أهداف الدراسة، اتُّبع المنهج الوصفي التحليلي بأسلوبه المختلط (الكميّ والنوعيّ)؛ إذ تكونت عينة الدراسة القصديّة من (60) خبيرًا من الأكاديميين والإداريين، طُبقت عليهم استبانة إلكترونيّة، بالإضافة إلى إجراء مقابلات شبه منظمة مع عينة فرعيّة منهم بلغت (46) خبيرًا.

كشفت النتائج أنَّ واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة جاء بدرجة "متوسطة"، وهو نتاج مبادرات فرديّة تصطدم بقصور الدعم المؤسسي المُمنهج. كما جاءت درجة التحديات "مرتفعة"؛ إذ برز التحدي البيداغوجي المتمثل في "الفجوة الحسيّة" وعدم قدرة المحاكاة على بناء المهارات العمليّة الماديّة كأبرز عائق. وفي المقابل، جاء تقدير الآثار المتوقعة بدرجة "مرتفعة جدًا"؛ إذ أجمع الخبراء على قدرة هذه التقنيّة على تعميق الفهم، وتجسير الفجوة مع متطلبات سوق العمل. كما بيّنت

النتائج عدم وجود فروقٍ ذات دلالة إحصائيّة في تصوّر واقع التوظيف تُعزى لُمتغيري طبيعة العمل، وسنوات الخبرة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة.

وبناءً على النتائج، خلصت الدراسة إلى أن الحل لا يكمُن في الإحلال الكامل، بل في "التكامل الذكي" بين العالمين الافتراضيّ والماديّ. وعليه، قدمت الدراسة تصورًا مقترحًا متكاملًا يرتكز على فلسفة "التكامل الذكيّ" الذي يدمج بين المختبرات الافتراضيّة والتقليديّة، ويوصي باستراتيجيات عمليّة على المستويين الإداريّ والأكاديمي لتعظيم المُخرجات التعليميّة وتأهيل كوادر هندسيّة قادرة على مواجهة متطلبات الصناعة الحديثة.

الكلمات المفتاحيّة: المختبرات الافتراضيّة، المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة، التعليم الهندسيّ، التعليم التقنيّ، الجامعات الفلسطينيّة.

Employing Virtual Laboratories in Teaching Programmable Logic Controllers from the Point of Field Experts

(Reality, Challenges, Expected effects)

Prepared by Ghena Farouq Tawfeeq Shanti

Supervised by Prof. Dr. Hamdy Younis Ahmed Abu Jarad

2025

Abstract

This study aimed to reveal the reality of employing virtual laboratories in teaching programmable logic controllers (PLCs) in Palestinian universities, and to investigate the most prominent challenges facing this employment, in addition to analyzing the expected effects of their adoption in the educational process, from the point of view of field experts, in preparation for presenting a proposed vision that contributes to activating their use effectively and efficiently. To achieve the study's objectives, the descriptive-analytical approach utilizing a mixed-methods design (quantitative and qualitative) was adopted. The purposive study sample consisted of (60) experts, including academics and administrators. Data were collected using an electronic questionnaire, complemented by semi-structured interviews with a sub-sample of (46) experts.

The findings revealed that the current reality of implementation is "medium," characterized by individual bottom-up initiatives that are constrained by a lack of systematic top-down institutional support. The level of challenges was found to be "high," with the most prominent obstacle identified as a pedagogical one, termed the "sensory gap"—the inability of simulations to build tangible, hands-on skills, particularly in hardware troubleshooting. In contrast, the assessment of expected impacts was "very high." Experts unanimously agreed on the technology's potential to deepen conceptual understanding and bridge the gap with labor market demands. Furthermore, the results showed no statistically significant differences in the perception of the reality of employment based on the variables of job nature or years of experience. Based on these findings, the study concludes that the solution lies not in complete replacement, but in the "Smart Integration" of the virtual and physical worlds. Consequently, the study proposes a proposed framework grounded in the "Smart Integration", which blends virtual and traditional laboratories, philosophy, recommending practical strategies at both the administrative and academic levels to

maximize learning outcomes and prepare engineering graduates for the demands of modern industry.

Keywords: Virtual Labs, Programmable Logic Controllers (PLC), Engineering Education, Technical Education, Mixed-Methods Research, Smart Integration, Palestinian Universities.

الفصل الأول

خلفية الدراسة ومشكلتها

1.1 المقدمة

2.1 مشكلة الدراسة وأسئلتها

3.1 أهداف الدراسة

4.1 أهمية الدراسة

5.1 حدود الدراسة ومحدداتها

6.1 التعريفات الاصطلاحية والإجرائية

الفصل الأول

1.1 المقدمة

لقد أحدث التطور الإلكتروني والمعلوماتي تحولًا جذريًا في المؤسسات التعليمية؛ وذلك بتمكينها من إنشاء بيئات تعلُّم إلكترونية افتراضيّة متكاملة، تضم أنظمة لإدارة التعلم، وفصولًا ومختبرات افتراضيّة، ومنصات إلكترونية تفاعليّة، وبرمجيات محاكاة تعليميّة، تُتيح للطلبة التعلُّم بصورة آمنة وسهلة ومرنة، وتُعزز من تفاعلهم مع المحتوى التعليميّ دون قيود المكان أو الزمان أو التكلفة. ومن بين أبرز هذه البيئات برزت "المختبرات الافتراضيّة" كحل مبتكر لمواجهة القصور في مستلزمات المختبرات المدرسية وتجهيزاتها، وهو القصور الذي أشارت إليه دراسات سابقة مثل دراسة المرشدي والصغير (2016)، مما دفع المؤسسات التعليمية للبحث عن بدائل تقنية فعالة.

إن المختبرات الافتراضيّة في جوهرها، هي بيئة تعليميّة تفاعليّة تحاكي المختبر الحقيقي بالاعتماد على تقنيات الحاسوب، وتوفر تجربة آمنة وفعّالة تتجاوز قيود المختبر المادي(أبو جزر، 2024؛ Masri, 2023). وتكمن قيمتها الجوهرية في مزايا متعددة، أبرزها انخفاض التكلفة، وتوفير بيئة خالية من المخاطر، والمرونة التي تتيح تكرار التجارب بلا حدود، مع إزالة الحواجز المكانية والزمانية أمام المتعلمين(البسام وعمر، 2023). كما تتوافق هذه البيئة التفاعليّة بشكل وثيق مع مبادئ النظرية البنائيّة، التي تؤكد أن المتعلِّم يبني معرفته بشكل نشط عبر الملاحظة والتجريب الشخصي، وهو ما تتيحه المختبرات الافتراضيّة بفعالية(شواهين، 2019).

وفي سياق التعليم الهندسيّ والتقنيّ، تبرز أهمية هذه التقنيات بشكل خاص عند تدريس "المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC)"، والتي تعد أداة محورية في تطبيقات الأتمتة الصناعية الحديثة(الشمري، 2018). إذ يلعب تدريس هذه المتحكمات دورًا حيويًا في ربط النظرية بالتطبيق

العملي وإعداد الطلاب لمتطلبات سوق العمل في مجالات إنترنت الأشياء والثورة الصناعية الرابعة(Ahmed et al., 2021). إلا أن تدريسها عبر المختبرات التقليدية وحدها يواجه تحديات جوهرية، تتمثل في التكلفة الباهظة لتوفير مختلف أنواع الأجهزة ومواكبة تطورها السريع، بالإضافة إلى خطورة تلف المعدات الحساسة نتيجة أخطاء التجريب، مما يحد من فرص التعلم القائم على التجربة والخطأ.

في ضوء ما سبق، تبرز المختبرات الافتراضيّة كحل استراتيجي ومنطقي لهذه التحديات؛ إذ تسمح بتوفير بيئة تعليمية متكاملة تتجاوز النظرة القديمة للمختبر كوسيلة مساعدة، ليصبح مقصدًا للتعلم بحد ذاته، كما أشار (الغامدي، 2021). وقد أكدت العديد من الدراسات الحديثة جدوى هذا التوجه؛ إذ أظهرت أن استخدام الواقع الافتراضيّ كأداة تعليميّة يُحسِّن فهم المفاهيم لدى الطلبة ويقلل من تكاليف التدريب والمخاطر التجريبيّة(Alhalabi, 2016; More et al., 2017).

وبشكل أكثر تحديدًا في مجال التحكم، أثبتت الأبحاث أن دمج تقنية المختبر الافتراضيّ يمكن تحقيقه بفعالية عبر أدوات تكنولوجية متنوعة. فعلى سبيل المثال، وقد أثبتت دراسات مثل دراسة وانغ وليو(Wang & Liu, 2024) وخوليخمتوف وآخرين(Kholikhmatov et al., 2023) أن بناء منصات محاكاة مرتبطة بوحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة عبر الحواسيب الشخصية يساهم في تحسين مهارات الطلاب بشكل ملموس. كما امتدت هذه التطبيقات لتشمل الأجهزة المحمولة، كما في دراسة زيلين تشو(Zelin Zhu, 2017)، وصولًا إلى توظيف تقنيات غامرة كالواقع الافتراضيّ (VR) والواقع المعزز (AR) لإنشاء بيئات تدريبية متقدمة في مجالات الهندسة والأتمتة الصناعيّة، كما نجحت في ذلك دراسات كورديرو-جوريدي وآخرين(Cordero-Guridi et al., 2022) وأغيلار وآخرين(Aguilar et al., 2022).

انطلاقًا مما سبق، ورغم التأييد العالمي المتزايد لتوظيف هذه التقنيات، والذي تعكسه توصيات مؤتمرات دولية مثل المؤتمر الدولي في مصر 2018، والمؤتمر الدوليّ الافتراضيّ للتعليم الإلكتروني 2020، كما أشار برناوي وبارعيدة(2022)، تسعى الدراسة الحالية لتسليط الضوء على الفجوة بين هذه الإمكانات الهائلة وبين واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في الجامعات الفلسطينيّة. وتهدف الدراسة إلى رصد الواقع والتحديات والآثار المتوقعة من وجهة نظر خبراء المجال، وصولًا إلى تقديم تصورٍ مقترح يساهم في بناء استراتيجية فعالة لتوظيف مختبر افتراضيّ متخصص في هذا المجال الحيويّ.

2.1 مشكلة الدراسة وأسئلتها

تنبع مشكلة الدراسة من فجوة ملحوظة بين الإمكانات الهائلة للمختبرات الافتراضيّة، والتي أثبتت فعاليتها دراسات عالمية عديدة كدراسة التحليل البعدي لدراسة لي وليانغ(Li & Liang, 2024)، وبين واقع تطبيقها الفعليّ المحدود في التعليم الهندسي بالمنطقة العربيّة عمومًا والفلسطيني خصوصًا. وقد استشعرت الباحثة هذه المشكلة إبّان تجربتها كطالبة هندسة خلال جائحة كورونا، وتعزز هذا الشعور لديها جراء ملاحظاتها الميدانيّة التي كشفت عن ضعف في المهارات العمليّة لدى الطلاب؛ إذ تبين أن الاعتماد على المختبرات التقليديّة وحدها يواجه تحديات جوهريّة. هذه التحديات لا تقتصر فقط على التكاليف المرتفعة وصعوبة الإتاحة المستمرة –وهو ما عالجته دراسة وانغ وليو(Wang & Liu, 2024) بتطوير بيئة محاكاة فعالة من حيث التكلفة– بل تشمل أيضًا خطورة تلف الأجهزة الحساسة نتيجة أخطاء التوصيل، مما يَعُوقُ عملية "التعلم بالمحاولة والخطأ" التي تُعد أساس التعلُّم الهندسيّ.

وتتفاقم هذه المشكلة في سياقات عربية مشابهة؛ فقد كشفت دراسات إقليمية عن وجود فجوة بين المطلوب والواقع؛ فقد وجدت دراسة أبو ربع(2024) في الجامعة الأردنية أن واقع استخدام المختبرات

الافتراضيّة لا يزال "متوسطًا". كما رصدت دراسة الهادي والجبري(2022) في الجامعات اليمنية ضعفًا كبيرًا في توفر متطلبات البيئة التعليمية والبرمجيات اللازمة. وأشارت دراسة الحربي(2023) في السعودية إلى أن واقع الاستخدام لا يزال محدودًا وأن هناك حاجة ماسة لتوفير بنية تحتية وبرامج تدريبية. ويتقاطع هذا الواقع مع ما توصلت إليه دراسة الشهري وآخرين(2023) التي أكدت أن الجانب التقني والتجهيزات المدرسية يمثلان أبرز المعوقات التي تواجه المعلمين.

ورغم أن دراسات فلسطينية سابقة، كتوصية دراسة أبو منسي(2016)، دعت إلى ضرورة توظيف برمجيات المحاكاة الإلكترونيّة في تنمية مهارات التحكم البرمجي، إلا أن هذا التوظيف لا يزال محدودًا ويفتقر إلى رؤية منهجيّة واضحة. وهذا ما يؤكد الحاجة الماسّة لإجراء دراسة عمليّة تستقصي هذا الواقع بعمق، ليس فقط لتشخيص المعوقات، بل لفهم أبعادها المختلفة وتقديم حلول عمليّة تتناسب مع السياق المحلي.

وعليه، تطلعت الباحثة لإجراء هذه الدراسة سعيًا لسد هذه الفجوة المعرفيّة والتطبيقيّة، من خلال استكشاف واقع وتحديات والأثر المتوقع لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال في الجامعات الفلسطينيّة، وبناء تصوّر مُقترح لتوظيف مختبر افتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة ضمن دورة تعلم متكاملة. وبناءً على ما تقدم، تتلخص مشكلة الدراسة في الأسئلة الآتية:

السـؤال الأول: ما واقع توظيف المختبرات الافتراضـيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال في الجامعات الفلسطينيّة؟

الســـؤال الثاني: ما تحديات توظيف المختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال في الجامعات الفلسطينيّة؟

الســـؤال الثالث: ما الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال في الجامعات الفلسطينيّة؟

الســؤال الرابع: ما التصــور المقترح لتوظيف مختبر افتراضــيّ في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في الجامعات الفلسطينيّة؟

وللتحقق من دلالة الفروق الإحصائية في استجابات عينة الدراسة حول تساؤلات البحث تبعًا لمتغيراته المستقلة، صِيغت الفرضيات الصفرية الآتية:

الفرضـــيّة الأولى: لا توجد فروق ذات دلالة إحصـــائيّة عند مســـتوى الدلالة $(\alpha = 0.05)$ في متوسطات استجابات أفراد عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تُعزى لمتغير طبيعة العمل (أكاديمي– إداري).

الفرضيّة الثانية: لا توجد فروق ذات دلالة إحصائيّة عند مستوى الدلالة $(\alpha = 0.05)$ في متوسطات اسـتجابات أفراد عينة الدراسـة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضـيّة تُعزى لمتغير سـنوات الخبرة (أقل من 5 سنوات، من 5–10 سنوات، أكثر من 10 سنوات).

3.1 أهداف الدراسة

تتلخص أهداف الدراسة الحالية في:

1. التعرّف على واقع توظيف المختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال.
2. تحديد أبرز التحديات التي تواجه توظيف المختبرات الافتراضيّة، في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال.

3. استقصاء الآثار التربوية والمهارية المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال.
4. الكشف عن دلالة الفروق الإحصائيّة في استجابات عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة في الجامعات الفلسطينيّة والتي تُعزى لمتغيري: (طبيعة العمل وسنوات الخبرة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة).
5. بناء تصور مقترح حول توظيف مختبر افتراضيّ في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في الجامعات الفلسطينيّة.

4.1 أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من حيوية موضوعها ومواكبته للتوجهات العالمية في التعليم الهندسي، وتنبع أهميتها النظرية والتطبيقية مما يلي:

تكمن الأهمية النظرية لهذه الدراسة في حداثة موضوعها، وكونها –حسب علم الباحثة– من أوائل الدراسات التي تتناول توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة ضمن السياق الفلسطيني. وبذلك، تسهم الدراسة في بناء إطار معرفي محليّ يُمكن الباحثين ومطوري المناهج من الاستناد إليه في دراسات مستقبليّة. كما أنها تُثري الأدبيات التربوية والتكنولوجية عبر تحليلها لتقاطع التقنيات التكنولوجية الحديثة (مُختبرات افتراضيّة – ثلاثية الأبعاد 3D) مع التعليم الهندسي التطبيقي، وتقديمها تأصيلًا نظريًا يدمج بين مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة والنظريات البنائية في التعليم.

1. سد الفجوة المعرفية: تُعد هذه الدراسة – في حدود علم الباحثة – من أوائل الدراسات التي تتناول توظيف المختبرات الافتراضيّة في مجال تخصصي دقيق هو (المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة) في السياق الفلسطيني، مقدمةً تأصيلًا نظريًا يدمج بين مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة والنظريات البنائية في التعليم.

2. عمق التحليل (تشـخيص الفجوة): تُضـيف الدراسـة للأدب التربوي تحليلًا نوعيًا يكشـف عن "المفارقة المؤسـسـية" المتمثلة في الصـراع بين المبادرات الأكاديمية الفردية (Bottom-Up) والقصـور في التمكين الإداري (Top-Down)، مما يوفر فهمًا أعمق لمعوقات التكنولوجيا يتجاوز العوامل المادية التقليدية.
3. تكامل المنهجية: تقدم الدراسـة نموذجًا بحثيًا يتبنى المنهج الوصـفي التحليلي ويمزج بين البيانات الكمية والنوعيّة (Mixed-Method)، مما يثري المكتبة العربيّة بدراسـة تتجاوز مجرد رصـد الواقع إلى تفسير "لماذا" يوجد هذا الواقع من وجهات نظر متعددة للخبراء (الأكاديميين، والإداريين).

وتتجلى الأهمية التطبيقية للدراسـة في تقديمها رؤية واقعيّة مبنية على خبرات ميدانية، مما يوفر مؤشـرات عملية لصـناع القرار في مؤسـسـات التعليم العالي الفلسـطينيّة. وتسـهم نتائج الدراسـة وتوصياتها بشكل مباشر في:

1. دعم اتخاذ القرار وترشـيد الإنفاق: تزويد الإدارات الجامعية بمؤشـرات دقيقة تسـاعد في اتخاذ قرارات اسـتثمارية رشـيدة فيما يتعلق بتطوير البنية التحتية، وتوجيه الموارد نحو برمجيات أثبتت جدواها (مثل Factory I/O)، مما يقلل الهدر المالي ويضمن عائدًا استثماريًا تعليميًا حقيقيًا.
2. تقديم إطار عملي (التصـور المقترح): تضـع الدراسـة بين يدي المعنيين تصـورًا مقترحًا قابلًا للتطبيق لتوظيف مختبر افتراضـيّ يعتمد فلسـفة "الدمج الذكي" (Smart Integration)، مما يوفر دليلًا إرشاديًا لكيفية تبني هذه التقنيات دون الانزلاق في فخ "الإحلال الكامل" الذي يهدد المهارات الحسية للمهندسين.
3. تطوير الممارسـات البيداغوجية: توجيه رؤسـاء الأقسـام وأعضـاء هيئة التدريس نحو ممارسـات تعليمية حديثة تتجاوز الاسـتخدام التقني المجرد، لتركز على تنمية مهارات "التفكير المنظومي" (System Thinking) لدى الطلبة، مع تحديد الاحتياجات التدريبية اللازمة لتحقيق ذلك.

4. تحسين جودة المخرجات والمواءمة مع سوق العمل: تقديم حلول عملية للتغلب على فجوة الخبرة، من خلال توفير بيئة محاكاة آمنة تســـمح بالتجريب المعقد، مما يرفع من جاهزية الخريجين ومقدرتهم التنافسية في سوق العمل المحلي والإقليمي في مجالات الأتمتة الصناعية.

5.1 حدود الدراسة ومحدداتها

تتأطر حدود الدراسة الحالية ومحدداتها في الآتي:

- الحدود الموضوعية: الواقع والتحديات والآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر الخبراء في فلسطين، بالإضافة إلى بناء تصور مقترح لتوظيفها.
- الحدود البشرية: طبقت الدراسة على عينة قصدية من الخبراء (الإداريين والأكاديميين) ممن يدرسون أو يشرفون على مساقات التي يتضمن محتواها المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في الكليات التقنية، والجامعات المستهدفة.
- الحدود المكانية: الجامعات الفلسطينيّة في محافظات الضفة الغربيّة بفلسطين، وهي: جامعة النجاح الوطنيّة، كليّة هشام حجاوي التكنولوجيّة، جامعة بوليتكنك فلسطين، الكلية الذكيّة للتعليم الحديث، جامعة فلسطين التقنيّة (خضوري)، جامعة القدس–أبو ديس، جامعة بير زيت، الكليّة العصريّة الجامعيّة، الجامعة العربيّة الأمريكيّة، جامعة الزيتونة للعلوم والتكنولوجيا، جامعة فلسطين الأهليّة، معهد الساليزيان.
- الحدود الزمانية: طبقت الدراسة وأدواتها خلال الفصلين الأول والثاني من العام الجامعي (2024م/2025م).

- الحدود الاجرائية: اعتمدت على الاستبانة الإلكترونيّة كأداة قياس لجمع البيانات وتُحُقِّقَ من درجة صدقها وثباتها، وكذلك استُخدِمَ دليل مقابلات (من إعداد الباحثة) بهدف إجراء مقابلات وجاهيّة مع بعض خبراء المجال وتُحُقِّق من موثوقيّة دليل المقابلات.

أما محددات الدراسة فقد واجهت الباحثة بعض المحددات التي قد تؤثر في تعميم النتائج أو سير الإجراءات، ويمكن إيجازها في:

- المحددات اللوجستية والأمنية: صعوبة الوصول الميداني إلى عينة الدراسة بسبب الحواجز العسكرية وتقطيع أوصال المدن، بالإضافة إلى الإجراءات الإدارية المعقدة في بعض الجامعات، مما استلزم وقتًا أطول لجمع البيانات.
- المحددات البشرية والموضوعية: اتساع مجتمع البحث وتوزعه الجغرافي، واختلاف الخلفيات التخصصية للخبراء، مما قد يؤثر نسبيًا على تجانس استجابات العينة.

وقد شكلت هذه العوامل مجتمعة تحديًا لوجستيًا وزمنيًا، مما أدى إلى استغراق فترة زمنية للتطبيق الميداني أطول من المخطط لها في عملية جمع البيانات (تطبيق المقابلات وتوزيع الاستبانة)، وهو ما انعكس بدوره على الجدول الزمني لإنجاز البحث.

6.1 التعريفات الاصطلاحيّة والإجرائيّة

ورد في هذه الدراسة عدد من المفاهيم والمصطلحات، وفيما يلي التعريف لكل منها:

المختبرات الافتراضيّة: "بيئة تفاعلية تستخدم الحاسوب أو الإنترنت لتوفير بديل للمختبر التقليدي، مما يسمح بإجراء التجارب في بيئة آمنة ومرنة ومناسبة لتطوير مهارات البحث العلمي"(الزهراني، 2023).

وعرفت الباحثة المختبرات الافتراضيّة إجرائيًا: بيئة تعلم تفاعلية ثلاثية الأبعاد، تعتمد على المحاكاة الحاسوبية لتمكين الطلبة من إجراء التجارب العلمية بشكل افتراضيّ دون الحاجة للمواد والأدوات الفعلية، بهدف تعزيز الفهم العميق للمفاهيم النظرية وتنمية المهارات العملية في بيئة آمنة ومحفزة.

المُتحكم المنطقي القابل للبرمجة: يُعرف أيضًا (بالإنجليزية: Programmable logic controller (PLC))، هو "جهاز إلكترونيّ رقميّ مع ذاكرة قابلة للبرمجة؛ لحفظ التعليمات الخاصة لتنفيذ وظائف ومهامّ مُعينة، مثل: العمليات المنطقيّة، والتتابع، والتوقيت، والعدّ، والعمليات الحسابيّة، وغيرها للتحكم بالآلات والعمليات الصناعيّة"(وزارة التربية والتعليم، 2020، ص220).

وعرفت الباحثة المُتحكم المنطقي القابل للبرمجة إجرائيًا بأنه: جهاز تحكم إلكتروني رقمي، يُحدَّد منطق عمله بكتابة أوامر برمجية بلغات متخصصة، ويُستخدم بشكل أساسي في أتمتة العمليات الصناعية والتحكم فيها بدقة وموثوقية عالية؛ نظرًا لقدرته على العمل في البيئات الصناعية القاسية، ومرونته في تعديل المهام، وسهولة تكامله مع الأنظمة الأخرى، ويقصد به في هذه الدراسة الأجهزة التي يُدرَّب الطلبة على برمجتها وتشغيلها سواء عبر المختبرات المادية أو الافتراضيّة.

خبراء المجال (Domain Experts): هم الأفراد الذين يمتلكون مستوى عالٍ من المعرفة والخبرة في مجال أو موضوع مُعين. هذا المستوى المُتقدم من الخبرة لا يقتصر على المعرفة النظرية فحسب، بل يشمل أيضًا الفهم العميق للتطبيقات العملية والممارسات المُتبعة في هذا المجال. مما يجعل خبرتهم حاسمة في العديد من السياقات المهنيّة والأكاديمية(الشرمان، 2020). وفي سياق تطوير التقنيات الحديثة، يتجلى دورهم في المشاركة في جوانب مختلفة من تطوير الأنظمة، مثل: جمع البيانات، وتقديم الاستشارات، وتقويم الأداء. ويحمل تصنيف فرد ما كـ"خبير" ادعاءات معياريّة ضمنيّة حول صحة معرفته؛ إذ تعتبر هذه المعرفة مرجعيّة أساسيّة تُستخدم لتشكيل سلوك الأنظمة والتحقق من صحتها(Díaz & Smith, 2023).

وعرفت الباحثة خبراء المجال: إداريين وأكاديميين من معلمي وفنيي الهندسة الكهربائية، وهندسة الميكاترونيكس، وهندسة الأتمتة الصناعيّة وخاصة معلمي المساقات التي تتضمن في محتواها المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، وفنيي مختبراته، في الكليات التقنية، والجامعات في فلسطين.

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

1.2 الإطار النظري

1.1.2 المحور الأول: المختبرات الافتراضيّة

1.1.1.2 مقدمة للمختبرات الافتراضيّة (المفهوم، النشأة، الأهميّة)

2.1.1.2 مفهوم المختبرات الافتراضيّة (التعريفات)

3.1.1.2 أهمية وأهداف المختبرات الافتراضيّة

4.1.1.2 مزايا المختبرات الافتراضيّة

5.1.1.2 أنواع وتصنيفات المختبرات الافتراضيّة

6.1.1.2 نماذج وتجارب الدوليّة في مجال المختبرات الافتراضيّة

7.1.1.2 مكونات المختبرات الافتراضية

8.1.1.2 الأسس والنماذج النظريّة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة

9.1.1.2 المختبرات الافتراضية ومبادئ التصميم الشامل للتعلم (UDL)

10.1.1.2 الأبعاد المؤثرة على توظيف المختبرات الافتراضيّة

11.1.1.2 معوقات وتحديات استخدام المختبرات الافتراضيّة

2.1.2 المحور الثاني: المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة

1.2.1.2 مفهوم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

2.2.1.2 تاريخ نشأة وتطور المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة

3.2.1.2 أهمية المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

4.2.1.2 مميزات المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

5.2.1.2 مكونات المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

6.2.1.2 أنواع المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

7.2.1.2 كيفية عمل المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

8.2.1.2 العوامل المؤثرة على المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

9.2.1.2 نظريات ومفاهيم تربويّة وتقنيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

10.2.1.2 التحديات التي تواجه المتحكمات المنطقيّة

3.1.2 توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة

2.2 الدراسات السابقة ذات الصلة

1.2.2 الدراسات المتعلقة بتوظيف المختبرات الافتراضيّة (الواقع، التحديات، الآثار)

1.1.2.2 عرض الدراسات السابقة (الخاصة بالمحور الأول)

2.1.2.2 التعقيب على الدراسات المتعلقة بتوظيف المختبرات الافتراضيّة

2.2.2 الدراسات المتعلقة بتنمية مهارات المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة

1.2.2.2 عرض الدراسات السابقة (الخاصة بالمحور الثاني)

2.2.2.2 التعقيب على الدراســـات المتعلقة بتنمية مهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

3.2 موقع البحث الحالي وأوجه الإفادة من الدراسات السابقة

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

1.2 الإطار النظري

نظرا لأن الدراسة الحالية تهدف إلى التعرف على أهمية توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)، فإن الإطار النظري الحالي يشتمل على محورين:

المحور الأول: المختبرات الافتراضيّة

المحور الثاني: المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

وفيما يلي ستتناول الباحثة ماهيّة المختبرات الافتراضيّة بشيء من التفصيل:

1.1.2 المحور الأول: المختبرات الافتراضيّة

1.1.1.2 مقدمة للمختبرات الافتراضيّة (المفهوم، النشأة، الأهميّة)

أحدثت التطورات المتسارعة في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات تحولًا جذريًا في طبيعة البيئات التعليمية والتقنيات المستخدمة فيها. وفي هذا السياق، برز مفهوم بيئات التعلُّم الافتراضيّة كأحد أهم المفاهيم الحديثة في مجال التعليم الإلكترونيّ، والذي جاء نتيجة للتطور الهائل في مجال تكنولوجيا المعلومات، والوسائط الرقمية، وتقنيات ثلاثية الأبعاد (3D). إنها بيئات حاسوبية تفاعلية متعددة الاستخدامات، يكون فيها المتعلم أكثر تفاعلية مع المحتوى، كما يستطيع المتعلِّم أن يشارك فيها بفعاليّة مستثمرًا حرية الإبحار، والتجول، مما يُقدِّم امتدادا للخبرات الحياتية الواقعية مع إتاحة درجات مختلفة من التعامل، والأداء، للمهمة المطلوب إنجازها(الأحمر، 2019). كما يتيح التعلم الافتراضيّ

للمتعلمين ممارسة التعلم الذاتي واكتساب المفاهيم والحقائق والمهارات التي يصعب اكتسابها من خلال طرق التعلم التقليدية؛ ولهذا فهو نظام يوفر حرية الاختيار ونقل المهارات التعليمية، ومن هذا المنطلق أكد العديد من التربويين على ضرورة الأخذ به لتحقيق أفضل النتائج في العملية التعليمية(أحمد، 2020).

إن فكرة استخدام المحاكاة الحاسوبية للأغراض التربوية والمعمليّة ليست حديثة بالكامل، فقد استُخدمت لتيسير التعليم والتدريب المهنيّ؛ إذ ظهرت أنواع وبيئات تعلُّم افتراضيّة في مجالات شتى مثل المسارح، والمعـامل، والمتاحف والتعليم والفصول، وقاعات التدريب(الشبل، 2018). ويُعد إنشاء أول مختبر فيزياء افتراضيّ "Virtual Physics Lab" في جامعة "هيوستون" (Houston) بإشراف العالِم "لوفتين" (Loftin) علامة فارقة في هذا المجال؛ إذ أتاح للطلاب التحكم في جميع متغيرات التجربة مثل: الجاذبية الأرضية، والمقاومة، والاحتكاك، وغيرها. وتُستخدم المختبرات الافتراضيّة اليوم لإجراء تجارب علمية، والاختبارات المعملية التي يصعب تنفيذها في الواقع نظرًا لخطورتها، أو لصعوبة تصورها(الشمراني، 2018).

وتبرز الحاجة الماسة لهذه التقنيات عند النظر إلى التحديات التي تواجه المختبرات التقليدية. ففي العديد من مجالات الدراسة، تُعد التجارب المعملية ضرورية لفهم المناهج، ولكن هذه المختبرات تعاني من عيوب جوهرية تشمل الازدحام والوقت المحدود للتجارب أو عدم كفاية تدابير السلامة، وكثيرا ما يعاني المختبر من نقص مساحة العمل الكافية، وارتفاع تكاليف البُنية التحتية المختبرية، والصيانة المكثفة للمعدات، والتحديث المنتظم للتجارب، وكذلك الإمدادات والمواد الاستهلاكية، وتقلب عبء العمل وانخفاض التمويل، والتغييرات المهنية المتكررة للموظفين ، ونقص الموظفين الفنيين الأكفاء، والتباين الكبير في جودة المرافق بين الدول المختلفة (في البلدان الغنية والنامية)(Sanzana et al.,

2024). وقد تفاقمت هذه التحديات بشكل خاص أثناء الأزمات، مثل جائحة كوفيد-19 التي حالت دون إمكانية استخدام المختبرات التقليدية(بحري، 2024).

لهذه الأسباب، لجأت العديد من المؤسسات التعليميّة للمختبرات الافتراضيّة كحل استراتيجي. فهي لا تسمح فقط بالتفاعل والاستكشاف، بل والاستقلاليّة حيث توفر الخيار الأمثل للتجارب عالية الخطورة، وتمكّن الطلاب من إجراء التجارب بأنفسهم بدلًا من مجرد المشاهدة(Wu et al., 2022). وتتأكد هذه الحاجة من خلال الفوائد التربوية المباشرة التي تقدمها؛ فكما أشارت زهراني(2022)، تعمل المختبرات الافتراضيّة على تعزيز بيئة التعلُّم وجعلها بناءة وأكثر فاعلية؛ إذ إنّها توّجه انتباه الطلبة للتركيز على المتغيرات العلمية وتفاعلاتها بدلًا من الانشغال بكيفية استخدام المعدات المادية فقط. وبذلك، تساعد المختبرات الافتراضيّة في التغلب على الحواجز التي تحد من الأنشطة التدريسية في المختبرات التقليدية، مثل ضيق الوقت، وكثرة أعداد الطلبة، مما يفتح المجال لتنمية مهاراتهم الإبداعية.

2.1.1.2 مفهوم المختبرات الافتراضيّة (التعريفات)

تُعد المختبرات الافتراضيّة (Virtual Laboratories) إحدى أبرز تطبيقات التكنولوجيا المتقدمة في التعليم؛ حيث تمثل نقلة نوعيّة في طرق إجراء التجارب العلمية. وبوصفها بيئات تعلم تفاعلية، فإنها غالبًا ما تستفيد من تقنيات متطورة مثل المحاكاة الحاسوبية، والنمذجة ثلاثية الأبعاد، وفي بعض تطبيقاتها المتقدمة، تكنولوجيا الواقع الافتراضيّ (Virtual Reality)، بهدف دمج التعلم التفاعلي مع الممارسة العملية بطريقة آمنة ومنخفضة التكاليف.

وقد تعددت تعريفات المختبرات الافتراضيّة بتعدد المداخل النظرية والتطبيقات العملية لها، ويمكن تصنيفها ضمن محاور رئيسية لفهم أبعاد المفهوم بشكل أعمق، على النحو التالي:

المحور الأول: المختبرات الافتراضيّة بوصفها بيئة محاكاة تفاعلية

يركز هذا المحور على تعريف المختبرات الافتراضيّة من حيث طبيعتها كبيئة بديلة أو مكملة للمختبر الحقيقي، ومن أبرز التعريفات في هذا السياق:

عرف الثبيتي وآخرون(2016) المختبرات الافتراضيّة بأنها: "بيئة منفتحة يتم من خلالها محاكاة مختبر العلوم الحقيقي، وربط الجانب النظري بالجانب العملي، ويتم فيها تدريس مهارات التفكير، ويكون لدى الطلبة مطلق الحرية في اتخاذ القرارات بأنفسهم، دون أن يترتب على هذه القرارات أية آثار سلبية".

وتعرفها العقالي(2018، 445) بأنها: "المستحدثات التكنولوجية التي تستخدم الحاسوب لإنشاء بيئة تخيلية ثلاثية الأبعاد تمكن المتعلم من المعايشة والتفاعل معها من خلال حواسه وبعض الأدوات الأخرى لتحقيق أهداف تعليمية محددة".

وعرف تركي والصبو(Turkey & Al-Sbou, 2022) المعمل الافتراضيّ بأنه: "المكان الذي تُجرى فيه التجارب العلمية إلكترونيًا عبر تطبيقات وبرامج خاصة بحيث يتم محاكاتها للواقع ويتم إضافة مكونات جديدة وتجارب مبتكرة دون أخطار وتساعد على توفير الوقت والجهد".

كذلك عرفتها الزهراني(2023) بأنها: "بيئة تفاعلية تستخدم الحاسوب أو الإنترنت لتوفير بديل للمختبر التقليدي، مما يسمح بإجراء التجارب في بيئة آمنة ومرنة ومناسبة لتطوير مهارات البحث العلمي".

تعقيب: يُلاحظ في هذه المجموعة من التعريفات أنها تتفق على جوهر المختبر الافتراضيّ كـ "بيئة" أساسها المحاكاة والتفاعل. كما تُبرز خصائصها الرئيسية التي تميزها عن المختبر التقليدي، مثل الأمان، والمرونة، والقدرة على ربط النظرية بالتطبيق دون مخاطر.

المحور الثاني: المختبرات الافتراضيّة من منظور وظيفتها التربوية وأساسها التقني

يركز هذا المحور على الغاية من استخدام المختبرات الافتراضيّة والأساس التكنولوجي الذي تقوم عليه لتحقيق تلك الغاية.

عرف عثمان وآخرون(Usman et al., 2021, 2) المختبر الافتراضيّ بأنه: "بيئة معملية يتم تنفيذها باستخدام برامج الحاسوب، بحيث تحاكي المعدات الحقيقية... يتميز المختبر الافتراضيّ بتكلفة منخفضة، وكفاءة عالية، وسهولة الوصول، وإمكانية مشاركة الموارد، وسلامة الاستخدام... كما يتيح للطلاب فرصة تكرار التجارب للحصول على نتائج أكثر دقة وفهمًا أعمق".

ووفقًا لـ كامرلوهر(Kammerlohr, 2022, p:12) فالمختبر غير التقليدي "عبارة عن مكان افتراضيّ يعتمد على البرمجيات والتقانة الرقمية لتمكين المستخدمين من القيام بإجراء التجارب والتحقيق في المفاهيم العلمية من خلال محاكاة التجارب الحقيقية".

ويُعرَّفه حكمي وأبو شملة(2023) "كنظام تعليمي رقمي مصمم لتزويد المتعلمين بتجارب تعليمية واقعية من خلال المحاكاة الحاسوبية والتفاعل مع الأدوات الرقمية".

وعرَّف العتيبي وعكيري وعكيري(2024) المختبر الافتراضيّ بأنه "نظام يُتيح محاكاة الأنشطة المختبرية عن طريق استعمال الوسائط مثل الرسوم والنماذج الخيالية، لزيادة فاعلية التعلم العملي وتطوير المهارات العلمية".

تعقيب: تُبرز هذه التعريفات البُعد الوظيفي للمختبرات الافتراضيّة؛ حيث لا تكتفي بوصف طبيعتها، بل تحدد الغاية التربوية منها، وهي تحقيق أهداف تعليمية محددة مثل تطوير المهارات، وزيادة فاعلية التعلم، وتوفير تجارب واقعية. كما تشير بوضوح إلى أن هذه الوظائف تتحقق من خلال "البرمجيات" و"الأنظمة الرقمية".

خلاصة وتعريف الباحثة الإجرائي:

يتضح من العرض السابق أن التعريفات تتفق على أن المختبرات الافتراضيّة هي بيئات تعلم رقمية قائمة على المحاكاة، تهدف إلى تحقيق أهداف تعليمية وتدريبية محددة في بيئة آمنة ومرنة وفعالة.

وبناءً على ما سبق، تتبنى الباحثة التعريف الإجرائي التالي للمختبرات الافتراضيّة: أنها بيئة تعلم تفاعلية ثلاثية الأبعاد، تعتمد على المحاكاة الحاسوبيّة لتمكين الطلبة من إجراء التجارب العلمية بشكل افتراضيّ دون الحاجة للمواد والأدوات الفعلية، بهدف تعزيز الفهم العميق للمفاهيم النظرية وتنمية المهارات العملية في بيئة آمنة ومحفزة.

3.1.1.2 أهمية وأهداف المختبرات الافتراضيّة

تعدّ المختبرات الافتراضيّة من الأدوات التعليمية الحديثة التي نالت أهمية كبيرة في المجالات المختلفة، إلى أن غدت أداة تعليمية لا غِنى عنها في عصر التطور الرقمي كونها توفر حلًا مبتكرًا يُسهم في تحقيق تعليم عالي الجودة بطريقة آمنة ومرنة واقتصاديّة(Uckelmann & Baalsrud, 2021)؛ تتضح أهمية هذا النوع من المختبرات من قدرتها على توفير فرصة للمتعلمين لفهم المفاهيم النظرية عبر تطبيقات عملية تفاعلية تساعدهم على ربط النظرية بالتطبيق وزيادة القدرة على فهم الأفكار المعقدة؛ إذ تقلل المختبرات الافتراضيّة من الحاجة للأدوات ذات التكلفة العالية أو تلك المواد التي يتكرر استخدامها في المختبر الواقعي(العماري، 2023)، كما تساعد إمكانية تكرار القيام بنفس التجارب التي توفرها هذه النوعيّة من المختبرات على تعميق الفهم بتكرار التجربة المستمرة في أي وقت يتناسب مع ظرف المتعلم، وتجنب في ذات الوقت خطر التعرض للأجهزة الكهربائية أو المواد الكيميائية المتواجدة في المختبر الواقعي والتي تتطلب خبرة علمية عالية للتعامل معها وتجنب مخاطرها، فالمختبر الافتراضيّ يمكن أن يكون أكثر أمانا للمتعلمين المبتدئين(الخشان، 2023).

كما تُعد المختبرات الافتراضيّة مناسبة للتعليم عن بُعد وهي بذلك تتحدى المعوقات الجغرافية التي قد تمنع المتعلم من إمكانية التواجد إلى المختبر التقليدي لإجراء تجاربه، ومع ذلك فهي قادرة على نقل المختبر الفعلي إلى الشكل الافتراضيّ مع كامل أدواته وأجهزته لتحاكي الواقع وتجعله أكثر تشويقا، بل أن المختبرات الحديثة ذات التقنية الرقمية تتفوق على التقليدية في كونها توفر إمكانية استكشاف العديد من السيناريوهات المختلفة مما يحفز حل المشكلات والتفكير الناقد(Kammerlohr et al., 2023). بالإضافة لذلك، فإن استخدام برامج وتطبيقات المحاكاة الرقمية والتحليل القائم على البيانات في حد ذاته يمثل مهارات تقنية متقدمة يجب أن يسعى المتعلم لاكتسابها ليصبح أكثر قدرة على مواجه تحديات العصر الرقمي الحالي(Errabo et al., 2024).

وتُستخدم المختبرات الافتراضيّة في مجالات متعددة مثل الفيزياء والكيمياء والأحياء والهندسة، وتُتيح القيام بتجارب يصعب تحقيقها في المختبر التقليدي بسبب التكلفة أو تعقيد التنفيذ، وتُقلّل من استهلاك الموارد الطبيعية وتسهم في توفير تقنيات تحافظ على البيئة(صبرة، 2023).

وانطلاقًا من هذه الأهمية، تهدف المختبرات الافتراضيّة إلى تحقيق الكثير من الأهداف التعليمية والبحثية المساعدة في تحسين جودة التدريس وتطوير المهارات العلمية والتقنية. تتنوع هذه الأهداف لتغطي جوانب مختلفة، ويذكر كل من(Tsirulnikov et al., 2023؛ Gericke et al., 2023؛ وأبو ربع، 2024) من هذه الأهداف ما يلي:

- دعم التعليم عن بُعد: إتاحة فرصة التعلم من خلال إتاحة مختبرات متكاملة عبر الإنترنت.
- تعزيز التعلم التجريبي والتطبيقي: تمكين الباحثين والمتعلمين من فهم المصطلحات والأفكار العلمية بشكل أعمق من خلال التجارب العملية وتحسين جودة التعليم
- توفير بيئة آمنة للتجريب دون مخاطر: تقليل درجة الخطورة المتعلقة باستخدام المعدات وتوفير فرصة للتجريب دون القلق بشأن الأخطاء ذات النتائج المكلفة أو الخطيرة.

- تحسين الوصول والمرونة التعليميّة: إتاحة الفرصة للمتعلمين للوصول إلى المختبرات دون اعتبار للقيود الزمنية والمكانية (التعلم في أي وقت ومن أي مكان).
- تطوير المهارات التقنيّة والرقميّة لدى المتعلمين: مساعدة المتعلمين على استخدام أدوات المحاكاة الرقمية وتقنيات الحوسبة مما يقوي قدرات التفكير والتحليل.
- تعزيز التعليم الذاتي والاستكشافي: دعم المتعلمين في استكشاف المفاهيم بشكل فردي وبالسرعة التي تناسبهم وتحقيق الاكتشافات العلمية ذاتيا.
- تقليل التكلفة المادية مقارنة بالمختبرات التقليديّة: من خلال توفير بدائل اقتصادية للمختبرات المادية التي تتطلب موارد مادية مكلفة وتخفض الحاجة لاستهلاك الموارد.
- إتاحة إمكانية تكرار التجارب بسهولة: تمكين الطلبة من إعادة التجارب عدة مرات لفهم الأخطاء وتحسين الأداء والتعلم من الخطأ دون عواقب سلبية.
- تشجيع الابتكار والإبداع: تحفيز التفكير الإبداعي بواسطة استكشاف سيناريوهات غير مألوفة أو غير ممكنة في العالم الواقعي وإجراء تجارب جديدة.
- دعم البحث العلمي من خلال محاكاة الفرضيات: توفير بيئة ملائمة للباحثين لاختبار الفرضيات وإجراء التجارب قبل تنفيذها فعليًا مستفيدين من أدوات بحثية رقمية متقدمة ومرنة.

4.1.1.2 مزايا المختبرات الافتراضيّة

يرى المنديل(2020) أن من أهم مزايا المختبرات الافتراضيّة ما يلي:

1. يتفاعل المتعلم مع المعلومات المقدمة بشكل مباشر.
2. تقديم تدريبات للمتعلم تساعد على تطوير المهارات التي يصعب تطبيقها على أرض الواقع.
3. بيئات المختبرات الافتراضيّة تثري العملية التعليمية بالتقنية الحديثة.
4. تتميز بيئات المختبرات الافتراضيّة بخاصية الإبحار.

5. تحقق المختبرات الافتراضيّة الأمان للمتعلم من الخطورة أو ما يصعب تطبيقه على أرض الواقع.

6. تجعل المختبرات الافتراضيّة دور المتعلم أكثر تفاعلًا من البيئة الواقعية.

7. تقدم المختبرات الافتراضيّة المحتوى العلمي بصورة مشوقة تجذب المتعلم إلى التعلم دون وجود أي عائق.

8. تمكن بيئات المختبرات الافتراضيّة المتعلم من الحركة داخل العالم الافتراضيّ بكل حرية ودون قيود أو صعوبة.

وأضاف الدليمي(2018) ما يلي:

1. كفاءة الوقت.

2. التعلم المبتكر.

3. إمكانية الوصول.

4. بيئة آمنة خالية من المخاطر.

5. بديل فعّال من حيث التكلفة.

6. قابلية التوسع؛ استيعاب عدد كبير من المستخدمين في وقت واحد، على عكس المختبرات الفعليّة.

7. مرونة التجربة؛ تكرار التجارب ومعالجة المتغيرات ورؤية نتائج السيناريوهات المختلفة بشكل فوري.

بناء على ما سبق؛ تُحدِث المختبرات الافتراضيّة ثورة في الطريقة التي يتم بها التعليم، فهي تُحقق سهولة وأمانًا وجاذبية أعلى.

5.1.1.2 أنواع وتصنيفات المختبرات الافتراضيّة

يمكن تصنيف المختبرات الافتراضيّة من منظورين رئيسيين ومكملين لبعضهما البعض: مستوى الانغماس الذي توفره للمستخدم، وطبيعتها التقنية ومنهجية عملها.

التصنيف حسب مستوى الانغماس (Immersion)

يرتبط هذا التصنيف بشكل مباشر على مدى توظيف تقنيات الواقع الافتراضيّ (Virtual Reality)، والتي تعد نمطًا جديدًا ومتطورًا من أنماط التعلم بالحاسوب. فهذا الواقع يعني محاكاة لبيئات حقيقية أو تخيلية يكون فيها المتعلم متفاعلًا ومعايشًا لها بكل حواسه وليس مجرد مستخدم للأجهزة والأدوات. وتهدف هذه التكنولوجيا إلى مساعدة الأفراد على فهم وإدراك المعلومات بسهولة من خلال درجة تفاعل عالية لا توجد في برامج الوسائط المتعددة التقليدية(عطيفي والمليجي، 2015).

إن العامل الرئيسي الذي يميز بين أنماط الواقع الافتراضيّ المختلفة، وبالتالي أنماط المختبرات القائمة عليه، هو مستوى "الانغماس" (Immersion) الذي يوفره للمستخدم، ويقصد بالانغماس درجة إحساس المستخدم بالوجود داخل البيئة الافتراضيّة وانعزاله عن العالم الحقيقي(عبد الحليم، 2017؛ نوفل، 2010).

وبناءً على هذا المعيار، تُصنف المختبرات كما أشار كرونين(Cronin, 1997)، والتي تستعرضها دراسة الدليمي(2018)، وتجدر الإشارة إلى أن الباحثة ستعتمد في هذا البحث مصطلح 'الانغماس' كونه الترجمة المباشرة والأكثر تداولًا للمصطلح الأجنبي (Immersion) في الأدبيات التقنية الحديثة، مع كونه يحمل نفس المضمون الذي تشير إليه 'الاستغراقية'. وبناء على ذلك، تُصنف المختبرات الافتراضيّة إلى ثلاثة أنماط:

- المختبرات الافتراضيّة التعليمية غير الانغماسيّة (Non-Immersive VR Labs):

يُعرف هذا النمط أيضًا في الأدبيات العلمية بـ "الواقع الافتراضيّ المكتبي" (Desktop VR) أو "نافذة على العالم الافتراضيّ" (Window on World - WoW). وهي المختبرات الافتراضيّة التي يتم التفاعل معها عبر شاشة الحاسوب التقليدية. ويرى كرونين أن هذا النمط هو أكثر أنظمة المختبرات الافتراضيّة التعليمية انتشارًا وأقلها تكلفة؛ حيث ينتج الحاسوب عالمًا افتراضيًّا ثلاثي

الأبعاد يراه المستخدم عبر نافذة على الشاشة. ويمكن للمستخدم التجول في هذا العالم باستخدام أدوات تحكم مألوفة مثل الفأرة ولوحة المفاتيح. وعلى الرغم من أن هذا النمط يتميز بانخفاض تكلفته، إلا أن جانبه السلبي الرئيسي هو غياب الإحساس الحقيقي بالانغماس أو الوجود (Sense of Presence) داخل البيئة الافتراضيّة.

- المختبرات الافتراضيّة التعليمية شبه الانغماسيّة (Semi-Immersive VR Labs):

يطلق كرونين على هذا النمط أيضًا اسم "المختبر الإسقاطي". وفي هذا النمط، يجتمع عدد من المشاركين في مساحة مخصصة لمشاهدة عرض المختبر الافتراضيّ على شاشات كبيرة جدًا أو أنظمة إسقاط ضوئي تحيط بهم، مما يوفر مجال رؤية واسعًا. يمنح هذا الإعداد المشاركين شعورًا أعلى بالانغماس مقارنة بالنمط المكتبي. ويتميز هذا النمط بتوفير تجربة جماعية وقدر مناسب من الاندماج مع مكونات البيئة الافتراضيّة.

- المختبرات الافتراضيّة كاملة الانغماس (Fully Immersive VR Labs):

يُعد هذا النمط الأكثر قدرة على تحقيق الإحساس الكامل بالوجود داخل البيئة الافتراضيّة. ويتطلب استخدام وحدة عرض بصرية توضع على رأس المستخدم (Head-Mounted Display – HMD)، والتي تعزله بصريًا وسمعيًا عن العالم الخارجي وتحيطه بالكامل بالواقع الافتراضيّ المصمم. عندما يدير المستخدم رأسه أو يتحرك، تستجيب البيئة الافتراضيّة لتلك الحركة بشكل فوري، مما يخلق شعورًا قويًا بمعايشة التجربة. ويرى كرونين أنه على الرغم من أن هذا النمط يمنح أقوى إحساس بالانغماس، إلا أنه كان يواجه تحديات تقنية سابقًا مثل ضعف دقة الشاشات ومعدل تحديث الصور، وهي تحديات تم تجاوز الكثير منها في الأجهزة الحديثة.

تعقيب على أهمية التصنيف: تكمن أهمية هذا التصنيف في كونه يربط بشكل مباشر بين التجربة الحسية للمستخدم (User Experience) ونوع التقنية المستخدمة. فهو يوضح أن المختبرات الافتراضيّة ليست كيانًا واحدًا، بل هي طيف متدرج من الخبرات، بدءًا من التفاعل البسيط عبر الشاشة وصولًا إلى الانغماس الكامل في بيئة افتراضيّة. هذا التمييز ضروري لفهم التحديات والفرص التربوية المرتبطة بكل نمط.

التصنيف حسب الطبيعة التقنية والمنهجية

يقدم أبو عوه والعجمي(2023) تصنيفًا شاملًا يميز بين الأنماط بناءً على طريقة عملها التقنية:

1. المحاكاة ثنائية الأبعاد البسيطة (2D Simple Simulations): يمثل هذا النمط المستوى التأسيسي، ويعتمد غالبًا على نماذج التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD). يقدم هذا النوع تصورًا مبسطًا للتجارب، ولكنه قد لا يحاكي جميع جوانب المختبر الحقيقي وتفاعلاته المعقدة.
2. المختبرات التفاعلية ثلاثية الأبعاد (3D Interactive Labs): تُمثِّل مستوىً أكثر تقدمًا، يستند إلى لغات النمذجة الحديثة لخلق بيئة غامرة. في هذا النمط، يتفاعل الطالب بشكل مباشر مع مكونات التجربة الافتراضيّة ويرى نتائج أفعاله بشكل فوري وديناميكي؛ مما يوفر درجة أعلى من الواقعية والتفاعل.
3. المختبرات عن بعد (Remote Labs): من المهم هنا التمييز بين بيئات المحاكاة وهذا النمط، فالمختبرات عن بعد لا تقوم على المحاكاة، بل تتيح للطالب التحكم في معدات وأجهزة مختبرية حقيقية وموجودة فعليًا في مكان ما، وذلك عبر شبكة الإنترنت.

4.النماذج الهجينة (Hybrid Models): وهي نماذج أكثر تعقيدًا تدمج بين الواقعي والافتراضيّ، ومنها:

- التجارب الحقيقية المسجلة: وتعتمد على عرض مقاطع فيديو لتجارب حقيقية مع إضافة عناصر تفاعلية.
- المختبر الهجين: وهو الذي يدمج بين واقعية مقاطع الفيديو المسجلة والمرونة التفاعلية التي توفرها برامج المحاكاة المتقدمة.

تعقيب على أهمية التصنيف: يكتسب هذا التصنيف أهميته الجوهرية للدراسة الحالية من تركيزه على آلية العمل التقنية، وذلك على عكس التصنيف السابق الذي اعتمد على التجربة الحسية للمستخدم. فهو يضع حجر الأساس للتمييز الدقيق بين أنماط التعلم العملي الرقمي، ويرسم خطًا فاصلًا وواضحًا بين ما هو "افتراضيّ" (قائم على المحاكاة) وما هو "حقيقي يتم التحكم به عن بعد" (Remote). هذا التمييز ضروري لتحديد نطاق الدراسة بدقة، والتركيز على نمط معين من المختبرات دون الخلط مع التقنيات الأخرى، مما يساعد في اختيار الأداة المناسبة للأهداف التعليمية المرجوة(أبو عوه والعجمي، 2023).

6.1.1.2 نماذج وتجارب الدولية في مجال المختبرات الافتراضيّة

تزخر الساحة الدولية بالعديد من التجارب الرائدة في توظيف المختبرات الافتراضيّة في التعليم العام والجامعي، ومن أبرز هذه النماذج(الشهراني وحسن، 2022؛ Masri, 2023):

1. مشروع (PhET): بجامعة كولورادو الأمريكية، ويعد من أشهر منصات المحاكاة التفاعلية للعلوم والرياضيات عالميًا.
2. منصة (PraxiLabs): نموذج عربي (مصر) يوفر مختبرات افتراضيّة تفاعلية ثلاثية الأبعاد في العلوم الأساسية (فيزياء، كيمياء، أحياء).
3. المختبر الافتراضيّ بجامعة هانوفر (ألمانيا): متخصص في مجالي العلوم الطبيعية والهندسة.

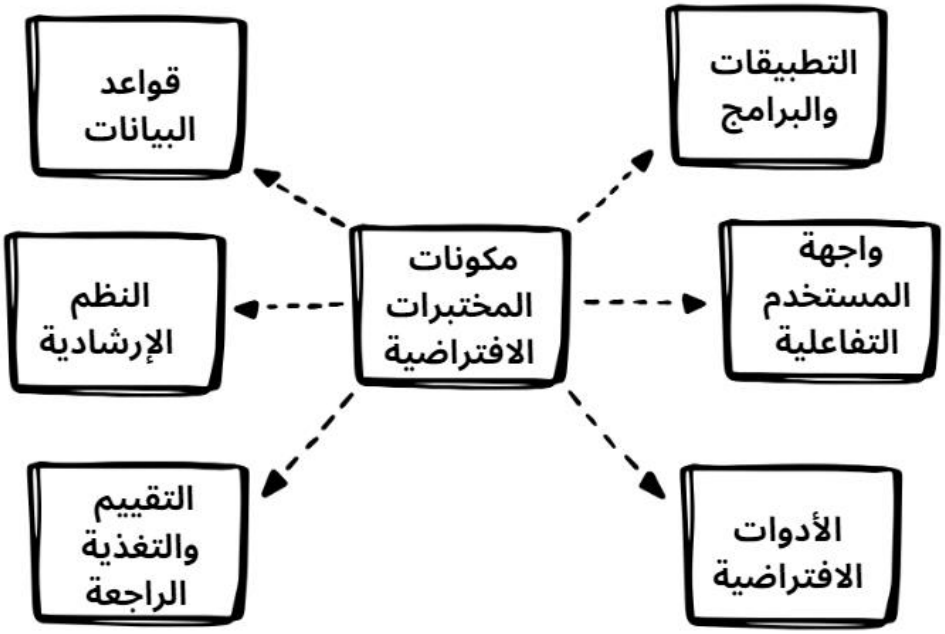
4. مختبرات (Crocodile Clips): برمجيات رائدة عالميًا تغطي مواد الكيمياء والفيزياء والرياضيات.
5. المختبر الافتراضيّ بجامعة جونز هوبكنز (الولايات المتحدة): يركز على التجارب العلمية المتقدمة.
6. المختبر الفيزيائي بالمدرسة العربيّة الإلكترونية (الأردن): تجربة عربية رائدة في تدريس الفيزياء.
7. تجارب جامعية متخصصة: مثل المختبر الكيميائي الافتراضيّ بجامعة تشارلز ستيوارت، أستراليا، المختبر الكيميائي الافتراضيّ بجامعة كارنيجي ميلون وأيضًا في جامعة بيستبرج في الولايات المتحدة الأمريكيّة، ومختبر الأحياء الدقيقة بجامعة تكساس في الولايات المتحدة الأمريكيّة، ومشروع (Semm Labs) بجامعة ليل بفرنسا.

7.1.1.2 مكونات المختبرات الافتراضيّة

تتكون المختبرات الافتراضيّة من مجموعة من العناصر الأساسية التي تعمل معًا لتوفير تجربة تفاعلية تُناظر المختبرات التقليدية. هذه المكونات تدمج بين التكنولوجيا والمحتوى التربوي لإجراء تجارب علمية افتراضيّة. ويوضح الشكل (1) المكونات الأساسية للمختبرات الافتراضيّة، والتي أشار إليها كل من(Sanzana et al., 2024؛ القرامسة، 2023؛ الثبيتي وآخرون، 2016) على النحو التالي:

1. التطبيقات والبرامج: وهي جوهر المختبر، برامج المحاكاة تُحاكي التجارب العلمية والكيميائية والتطبيقات المتخصصة التي تُتيح التفاعل مع الأدوات الافتراضيّة وإجراء العمليات الرياضية وتحليل النتائج.
2. واجهة المستخدم التفاعلية: هي الواجهة التي يستعملها الطالب وتمكنه من التفاعل مع الأدوات داخل المكان، وهذه الواجهة مصممة بتقنيات ثلاثية الأبعاد تجعل بيئة المختبر تعطي إحساسا بالواقعية.

3. الأدوات والمعدات الافتراضيّة: تتمثل هذه المعدات الرقمية ذات الأداء المحاكي للمعدات التقليدية بالأدوات الكيميائية والفيزيائية مثل الدوائر الكهربائية والكواشف والموازين والعدسات والميكروسكوبيات وغيرها من التجهيزات التي تساعد على إجراء التجربة وكأنها في المختبر الواقعي.
4. النظم الإرشادية والمحتوى التعليمي: تحتوي على المواد والنصوص التوضيحية التي تُوجّه الطلبة أثناء إجراء التجارب باستخدام فيديوهات وصور تعليمية وأدلة تجريبية.
5. قواعد البيانات: تمكن هذه القواعد من حفظ السجلات للرجوع إليها وتخزن البيانات الناتجة عن التجارب لتقويم أداء الطلبة ومستوى تقدمهم.
6. نظام التقويم والتغذية الراجعة: غالبا ما تحتوي النظم داخل المختبرات الافتراضيّة على أدوات مدمجة تقدم ملاحظة فورية وتقارير أداء للمتعلم.



الشكل (1): *مكونات المختبرات الافتراضيّة*

8.1.1.2 الأسس والنماذج النظريّة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة

إن استخدام المختبرات الافتراضيّة في التعليم مدعوم بالعديد من النظريات التعليمية التي تشرح فعاليتها في زيادة القدرة على التعلم، مما يجعلها أداة متعددة الاستخدامات للتربية الحديثة. وهي تتوافق مع مبادئ التعلم النشط، وإمكانية الوصول، وقابلية التوسع، مما يجعلها مثالية لتعزيز المشاركة العميقة والهادفة مع المفاهيم العلمية والتقنية المعقدة(صالح، 2023). وفيما يلي بعض النظريات الرئيسية:

النظرية السلوكية وتطبيقاتها

تنظر السلوكية، التي يتبناها منظرون مثل سكينر (Skinner)، إلى التعلم باعتباره عملية اكتساب سلوكيات جديدة بالتعزيز والتكرار، وفي المختبرات الافتراضيّة، يمكن للمتعلمين ممارسة المهام بشكل متكرر، وتلقي ردود فعل فورية، وتعديل أساليبهم لتحقيق النتائج المرجوة. ويعزز استخدام المكافآت، مثل مؤشرات التقدم أو عناصر اللعب، السلوكيات الصحيحة ويحفز المتعلمين على المثابرة، وتعتبر مبادئ السلوكية فعالة بشكل خاص في تعليم المهارات الإجرائية، مثل إعداد التجارب أو تحليل البيانات، والتي تدعمها المختبرات الافتراضيّة من خلال توفير فرص ممارسة منظمة ومتسقة(Gericke et al., 2024).

النظريات المعرفيّة وتطبيقاتها

نظرية الحِمل (العبء) المعرفيّ (Cognitive Load Theory)

تُعد نظرية الحمل المعرفي من أفضل النظريات التي تسهم في تعزيز فعالية مختلف الإجراءات والأنشطة التعليمية التقليدية والإلكترونية(السباب، 2021). تزعم هذه النظرية التي وضعها جون سويلر (John Sweller) أن التعلم يكون أكثر فعالية عندما يتم تخصيص الموارد المعرفية بشكل مثالي بين

معالجة المعلومات الجديدة وبناء هياكل المعرفة طويلة الأجل. وهي تميز بين الحمل الجوهري (التعقيد المتأصل للمهمة)، والحمل الخارجي (المعلومات غير ذات الصلة أو المشتتات)، والحمل ذي الصلة (الجهد المخصص للفهم).

تهدف نظرية العبء المعرفيّ(Cognitive load theory) إلى وضع خطوط عامة لتصميم التعليم اعتمادًا على تصميم البناء المعرفيّ الإنسانيّ(Human Cognitive Architecture) والذي يتسم بمحدودية قدرة الذاكرة العاملة على التعامل مع المعلومات ومعالجتها مقارنة بقدرة غير محدودة للذاكرة طويلة الأمد. وفي الذاكرة طويلة الأمد يتم تخزين النماذج والتصاميم المعرفية وترتيبها. وهنا يوصف التعلم بأنه بناء مثل هذه النماذج والتصاميم وأتمتتها(الشرمان،2019).

لهذا يشكل العبء المعرفي المناسب أكثر أهمية من بين أنواع العبء الأخرى فهو يعد ضروريا لإكساب البنية المعرفية. ولقد وضعت نظرية العبء المعرفي أساسين رئيسين لخفض العبء المعرفي وتحقيق أكبر قدر من التعلم؛ هما:

أولهما: بناء تصاميم تعليمية تستند إلى البناء المعرفي للفرد.

وثانيهما: تسليط الضوء بشكل أكبر على أسلوب البناء.

إن من المهم الربط بين البناء المعرفي للفرد والتصاميم التعليمية؛ إذ إنّ الجانب الفريد الذي يميز الفكر الإنساني هو الجانب الكمي الذي يتمثل في حجم المعلومات في الذاكرة طويلة المدى التي تسبب الاختلافات الفكرية بين البشر، لذا يجب أن تبنى التصاميم التعليمية تبعا للخزن المعرفي للفرد وتحقيق أكبر قدر من التعلم(السباب، 2021).

كما تساعد المختبرات الافتراضيّة في إدارة الحمل المعرفي بالقضاء على المشتتات المادية مثل إعداد المعدات، ومخاوف السلامة، والصعوبات الإجرائية، وبالتالي تقليل العبء المعرفي الخارجي؛ فهي تتيح للمتعلمين بمعالجة عدد أكبر من العناصر المعرفية بقليل من الجهد والانتباه وبشكل آلي

عبر تبسيط الواجهة، أو إظهار المعلومات خطوة بخطوة، أو إخفاء التفاصيل غير الضرورية في المراحل الأولى من التعلّم، وتعزيز تطوير المخططات وتحسين العبء ذي الصلة لتحسين الفهم(صبرة، 2023).

النظريات البنائية وتطبيقاتها

أجمعتْ الأدبيَّاتُ التَّربويَّة في بيئات التعلُّم الافتراضيّ على ضرورة اعتماد تكنولوجيا البيئة الافتراضيّة على نظريَّة تربويَّة مُحدَّدة المَعالِم، فالنَّظريَّةُ البنائيَّةُ تَتناسَبُ وطَبيعَة تكنولوجية البيئة الافتراضيّة، كما تتفقُ مبادئها مع سِمَاتِ البيئَةِ الافتراضيّة. وكما توضح دراسة ضاحي(2025)، فإنَّ النَّظريَّة البنائيَّة هي نظريَّةٌ تعليميَّةٌ تهدفُ العملَ على عمليَّةِ بنَاءِ المعرفَةِ بواسِطَةِ الفَرْدِ، فلا تُقدِّم المعرفة بصُورةٍ جاهزَةٍ، وإنَّما تُوجدُ المعرفة فقط في عقل الفرد الذي يبني المعرفة ويفسِّرها وفق إدراكه الشخَّصي وخِبْرَتِه الذَّاتيَّة، ويقتصِرُ دَوْرُ المُعلِّم في ظلِّ هذه النظرية على التَّفسير والإرشاد، وتسهيل بيئة التعليم وإتاحة الفُرصَةِ للمُتعلِّم لبناء المعرفة وفق خبرته الخاصَّة؛ كُلَّما أمكن ذلك تحت توجيه المُعلِّم وإرشادِه، ومن هذا المَفهومُ نَجِدُ عَلاقةً وطيدَةً بين النَّظرية البنائيَّة والبيئة الافتراضيّة؛ إذ يَحدثُ التعلُّم في البيئَةِ الافتراضيّة بطريقَةٍ مُبَاشِرَةٍ؛ إثر المُرُورِ بالخِبرَاتِ التَّعليميَّة، والقاعدة الأساسيَّة في اكتسَابِ هذه الخِبْرَاتِ هي استعانَةُ الفَرْدِ بخبرَاتِه السَّابقة الأوليَّة لبِنَاءِ خِبْرَاتٍ جديدَةٍ، ويبني الفردُ المعرفَةَ في البيئَة الافتراضيّة، عبر اكتشاف البيئة الافتراضيّة وبنائها، وتُصبحُ المعرفَةُ التي يكتسبُها الفردُ في ظِلِّ البيئَة الافتراضيّة هي معرفَةٌ وظيفيَّةٌ ذَات معنى ودلالة لدى الفرد(صبرة، 2023).

وممَّا سَبَق يُمكنُ القولُ أنَّ كُلًّا من النظريَّة البنائيَّة وبيئات التعلُّم الافتراضيّ تُؤكِّدان أهميَّةَ بِنَاءِ المعرِفَةِ، من خلالِ إتاحَةِ الفُرْصَةِ للفَرْدِ بالمُرُورِ بالخِبْرَاتِ التَّعليميَّة الحقيقيَّة؛ من خلال بيئات التعلم الافتراضيّة التي تُسهِمُ في بنَاءِ وَعْي المُتعلِّم، بالإضَافَةِ إلى تَمكُّنه من فَهْمِ المَفَاهيم في العالم الحقيقي

وزيادة تحصيله الدراسي، ويتمُّ ذلك من خلال ما تُوفِّرُه من مَواقِفَ إيجابيَّةٍ قائمَةٍ على النَّشَاطِ والتَّفاعُلِ الإيجابي(عوض وبرغوث، 2017).

وبناءً على ما سبق تجدُ الباحثةُ أنَّ العلاقة بين التعلم القائم على بيئة التعلم الافتراضيّة والنظرية البنائيَّة علاقة تبادُليَّة تأتي من فكرة أنَّ بيئة التعلُّم الافتراضيّة الإلكترونية تَستهدِفُ إلى إنشَاءِ نَوْعٍ من التَّفاعُلِ الاجتماعي بين المُتعلِّمين، فأبرزُ التَّغيُّراتِ النّاتجة عن هذا التفاعل، وهو التعلم باستمرار؛ مِمَّا يُساعِدُ على تولُّد معرفةٍ تراكميَّةٍ تصَاعديَّةٍ لدَى المتعلم، ولأنَّ المعرفة البنائيّة هي نِتَاجُ التفَاعُلِ الاجتماعي واستخدام اللُّغة الرقميَّة للتَّواصُلِ؛ لذا فإنَّ المعرفَة تَشارُكيَّة وليست فرديَّةً، وبذلك نَجِدُ بيئةَ التعلُّم الافتراضيّة قِوَامُها الأساسي النظرية البنائية(Wu, et al., 2022).

نظرية التعلم التجريبي – دورة كولب (Kolb's Experiential Learning Theory)

تؤكد هذه النظرية بحسب كولب (Kolb) أن التعلم عملية دورية تتضمن أربع مراحل: الخبرة الملموسة، والملاحظة القائمة على التأمل، والتصور المجرد، والتجريب النشط. وفي المختبرات الافتراضيّة يكتسب المتعلمون بدايةً خبرات ملموسة بإجراء تجارب واقعية بتنسيق رقمي، ثم يمكنهم التفكير في ملاحظاتهم بتحليل البيانات والنتائج، تساعدهم هذه التأملات في تكوين مفاهيم مجردة (فهم المبدأ الهندسيّ) واتصالات نظرية، والتي يمكن اختبارها وصقلها من خلال تجارب إضافية نشطة (بتغيير المتغيرات واختبار فرضيات جديدة)، تعمل المختبرات الافتراضيّة على تعزيز هذه الدورة بتمكين التجارب التكرارية والتجريب الآمن، وتعزيز التعلم العميق ومهارات حل المشكلات(بحري، 2024).

نظرية التعلم الواقعي (Situated Learning Theory)

تؤكد نظرية التعلم الواقعي، التي طورها جان لاف وإتيان وينجر Jean Lave and Etienne Wenger، أن التعلم يكون أكثر فعالية عندما يحدث في بيئات أصيلة غنية بالأنشطة. وتنظر هذه النظرية إلى المعرفة باعتبارها مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالأنشطة والثقافة والسياق الذي تُستخدم فيه؛ إذ

تخلق المختبرات الافتراضيّة سياقات تعليمية أصيلة بمحاكاة سيناريوهات المختبر في العالم الحقيقي، وتغمر هذه البيئات المتعلمين في مهام تعكس الممارســـات المهنية، مما يمكنهم من تطوير المهارات ذات الصـــلة وتطبيق المعرفة النظرية عمليًا مثل Praxilabs ففي هذه المختبرات لا يقرأ الطلبة عن التجارب العمليّة بل يقومون بإجرائها فعليًا خطوةً بخطوة؛ حيث يتفاعلون مع الأدوات والمواد في بيئة تحاكي مختبرات العلوم الحقيقيّة كمختبرات الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا، مما يضـع التعلُّم في صـميم الممارســة العلميّة الأصــيلة(PraxiLabs, n.d.). وبالمثل وحســب ما أشــار إليه Real Games & Rockwell Automation (n.d.) فإن بيئات مثل Factory I/O و Emulate 3D TM تمثل تطبيقًا مباشرًا لهذه النظرية وتضع الطلبة في سياق صناعيّ واقعيّ لحل مشكلات حقيقيّة. كما يدعم التعلم الواقعي في المختبرات الافتراضــيّة المشــاركة الطرفية المشــروعة؛ إذ يبدأ المتعلمون بمهام أبســط وينخرطون تدريجيًا في أنشطة أكثر تعقيدًا(Tsirulnikov et al., 2024)

نظرية التوافق البنّاء (Constructive Alignment Theory)

تؤكد نظرية التوافق البنّاء لجون بيجز (John Biggs) أن التدريس الفعّال يوفق بين نتائج التعلم والأنشطة والتقويمات، وتُجسّد المختبرات هذا التوافق من خلال دمج التجارب التفاعلية التي ترتبط ارتباطًا مباشرًا بأهداف التعلم وأساليب التقويم، فهي توفر فرصا للمتعلمين للتفاعل بنشاط مع المحتوى، مما يضمن معالجة المهارات والمعرفة المستهدفة من خلال المنهج الدراسي بشكل فعال، وتتوافق أساليب التقويم في المختبرات الافتراضيّة – مثل الملاحظات في الوقت الفعلي ومهام تحليل البيانات ومراجعات الأداء – مع النتائج المقصودة، مما يضمن تحقيق الطلبة لتقدم ذي معنى وقابل للقياس(Kammerlohr et al., 2023).

نماذج تبني التقنيّة وتصميم الأهداف التعليميّة

نظرية انتشار المستحدثات/ الابتكارات (Diffusion of Innovations Theory)

ظهرت هذه النظرية خلال السنوات الأخيرة في الخمسينيات والستينيات على يد العالم روجرز "Rogers" متأثرة بنظرية تدفق المعلومات على مرحلتين التي قدمها لازازسفيلد وزملاؤه. وتركز هذه النظرية على نشر المستحدثات والمبتكرات والتجديد بين أفراد المجتمع أو قطاع منه بهدف تحقيق التنمية، فقد تعتبر (التغيير) الهدف النهائي لها. وتهدف هذه النظرية للتعرف على آليات تبني الأفكار والمستحدثات من قبل الجمهور (المجتمع وأفراده) لتؤكد دور البيئة الاجتماعية على سريان المعلومات وقبولها.

وقد عرف روجرز عملية تبني الأفكار الجديدة والمستحدثة بوجه عام أنها "العملية العقلية التي يمر خلالها الفرد من وقت سماعه أو علمه بالفكرة أو الابتكار حتى ينتهي به الأمر إلى أن يتبناها" وتمر هذه العملية بخمس مراحل هي: مرحلة الوعي بالفكرة (المعرفة أو العلم)، مرحلة الاهتمام (الاقتناع)، مرحلة التقويم (اتخاذ القرار)، مرحلة التجريب (التطبيق)، مرحلة التبني (التأكيد)(الرومي والقحطاني، 2022).

تصنيف بلوم للمستويات المعرفيّة (Bloom's Taxonomy)

يُعد تصنيف أندرسون وكراثول(Anderson & Krathwohl, 2001) للأهداف التعليمية، والذي يمثل مراجعة وتحديثًا لتصنيف بلوم الأصلي (Bloom's Taxonomy)، إطارًا مرجعيًا أساسيًا لتنظيم المهارات المعرفية في تدرج هرمي.

وفي سياق هذه الدراسة، يُستخدم هذا الإطار كأداة تحليليّة لاستشراف قدرة المختبرات الافتراضيّة على دعم مهارات التفكير العُليا لدى الطلبة، وتكمن أهميته هنا في إمكانية مواءمة أنشطة المختبرات

الافتراضيّة مع هذا الإطار؛ إذ ينظم تصنيف بلوم التعلم في إطار هرمي، يتدرج من مهارات التفكير الدنيا [التذكر (Remembering)، والفهم (Understanding)]، مروراً بالمهارات المتوسطة وهي [التطبيق (Applying) والتحليل (Analyzing)]، وصولاً إلى مهارات التفكير العليا [التقويم (Evaluating)، والإبداع (Creating)]. وتتوافق المختبرات الافتراضيّة مع هذا الإطار بتوفيرها سلسلة من المهام التي تبني على المعرفة الأساسية؛ إذ يبدأ المتعلمون في المختبرات الافتراضيّة بتذكر الإجراءات التجريبية وفهمها، ثم ينتقلون إلى تطبيق المعرفة من خلال إجراء عمليات المحاكاة وتحليل النتائج وتقويم البيانات، وتمكن الميزات المتقدمة في المختبرات الطلاب من إنشاء تجاربهم الخاصة، مما يعزز الإبداع والتفكير من خلال التدريب المتدرج تصاعديًا أو الذي يزداد صعوبة بالتدريج(Kammerlohr et al., 2023).

9.1.1.2 المختبرات الافتراضيّة ومبادئ التصميم الشامل للتعلم (UDL)

يعزز إطار التصميم الشامل للتعلم (Universal Design for Learning - UDL) بيئات التعلم مرنة ومتاحة للجميع، مصممة خصيصًا لاستيعاب الاحتياجات المتنوعة للمتعلمين. حيث يؤكد التصميم الشامل للتعلم على توفير وسائل متعددة للتمثيل والمشاركة والتعبير.

يقدِّم إطار التصميم الشامل للتعلُّم كما أشار لها(الربيعان والمطيري، 2023)، على ثلاثة مبادئ رئيسةٍ، وإرشادات فرعية، تعكس المرونة في عملية تقديم المعلومات، وإشراك التلاميذ في العملية التعليمية، وعملية تقويم التلاميذ، وتهدف إلى توفير وسائل متعددة للتمثيل "ماذا نتعلَّم"، والمشاركة "لماذا نتعلَّم"، والتعبير "كيف نتعلَّم".

وتتوافق المختبرات الافتراضيّة بشكل مثالي مع هذه المبادئ؛ حيث تضمن من خلال تصميمها تقديم محتوى متعدد الوسائط، مثل المحاكاة القائمة على الرؤية والتعليمات المسموعة والمهام التفاعلية،

كما أنها تلبي أنماط وقدرات التعلم المتنوعة، بما في ذلك خيارات تخصيص سرعات المحاكاة، واستخدام التقنيات المساعدة، والوصول إلى الأدلة أو البرامج التعليمية المدمجة، ومن خلال جعل الاستكشاف العلمي في متناول الجميع وقابل للتكيف، بالإضافة إلى أنها تضمن أن يتمكن جميع الراغبين في التعلم من المشاركة الكاملة، بغض النظر عن خلفياتهم أو قدراتهم(Masri, 2023). وفيما يلي توضيح لكيفية تحقيق المختبرات الافتراضيّة لكل مبدأ من مبادئ التصميم الشامل للتعلم:

1. توفير وسائلَ متعدِّدةٍ لتقديم المعلومات (Representation) "ماذا نتعلَّم": وهي تمثِّل "ماهية التعلُّم"،

وينص هذا المبدأ على ضرورة تقديم المحتوى بأشكال متنوعة لتلبية الفروق الفردية في الإدراك والفهم لدى المتعلمين؛ إذ يختلف الأفراد في طرق إدراكهم وفَهمهم للمعلومات التي تقدَّم لهم، فالطلبة الذين يُعانون من صعوبات التعلُّم، قد يستوعبون المعلوماتِ بشكل أسرعَ، أو بكفاءةٍ أكبرَ، من خلال الوسائل المرئيَّة أو السمعية، أكثرَ من النصّ المطبوع، لذا؛ لا توجد طريقة واحدة مناسبة لتقديم المعلومات؛ وإنما يُعد توفير خيارات متعدِّدة أمر ضروريٌّ لجميع الطلبة. وتبرز المختبرات الافتراضيّة كأداة مثالية لتطبيق هذا المبدأ، فهي تتيح:

- تعدد الوسائط: تقدم المختبرات الافتراضيّة المعلومات في مزيج من النصوص المكتوبة، والصور الثابتة والرسوم البيانية، والمحاكاة البصرية المتحركة، والمقاطع الصوتية للشرح، ومقاطع الفيديو التعليمية. هذا التنوع يسمح للمتعلمين بمعالجة المعلومات بالطريقة التي تناسبهم، سواء كانوا متعلمين بصريين أو سمعيين أو حركيين.
- التخصيص والتكيف: يمكن للمتعلمين التحكم في كيفية عرض المعلومات. على سبيل المثال، يمكنهم تكبير الصور لمشاهدة التفاصيل الدقيقة، أو إعادة تشغيل المحاكاة عدة مرات، أو

التحكم في سرعة العرض. كما يمكن تفعيل التسميات التوضيحية للفيديوهات أو استخدام قارئات الشاشة للنصوص، مما يجعل المحتوى متاحًا للطلاب ذوي الإعاقات الحسية.

- تبسيط المفاهيم المعقدة: تتيح المختبرات الافتراضيّة للطلاب رؤية العمليات التي لا يمكن ملاحظتها في المختبرات التقليدية، مثل التفاعلات على المستوى الجزيئي أو الظواهر الفيزيائية المجردة. هذا التمثيل البصري يوضح العلاقات بين السبب والنتيجة ويساعد على بناء نماذج ذهنية دقيقة للمفاهيم العلمية.

2. توفير وسائلَ متعدِّدةٍ للمشاركة والتفاعل (Engagement) "لماذا نتعلَّم": وهي تمثِّل "هدف التعلُّم"، ويتعلَّق بإثارة دافعيتهم للتعلُّم، لذا؛ تنوُّع أساليب تحفيز الطلبة يُعتبَر ضرورةً لاندماجهم في العملية التعليمية؛ فقد يفضِّل بعضهم العمل الفرديَّ، بينما الآخرون يفضِّلون العمل مع أقرانهم. يركز هذا المبدأ على إثارة دافعية المتعلمين واهتمامهم بتوفير خيارات متنوعة تحفّز اهتمامهم. وتساهم المختبرات الافتراضيّة في تحقيق ذلك عبر توفير:

- بيئة آمنة للتجربة والاستكشاف: تتيح المختبرات الافتراضيّة للطلاب إجراء التجارب التي قد تكون خطيرة أو مكلفة في الواقع، دون الخوف من ارتكاب الأخطاء. هذه البيئة الآمنة تشجع على الفضول والاستكشاف والمجازفة، مما يزيد من دافعية الطالب للتعلم.
- التفاعلية والملاحظات الفورية: بدلًا من اتباع التعليمات بشكل سلبي، يتفاعل الطلاب بشكل مباشر مع الأدوات والمواد الافتراضيّة. يتلقون ملاحظات فورية على أفعالهم، مما يساعدهم على فهم تأثير تغيير متغير معين ورؤية النتائج مباشرة، الأمر الذي يعزز من مشاركتهم الفعالة.

- الصلة بالواقع: يمكن تصميم المختبرات الافتراضيّة لمحاكاة سيناريوهات من العالم الحقيقي، مما يجعل التعلم أكثر صلة بحياة الطلاب ويزيد من اهتمامهم. على سبيل المثال، يمكن محاكاة كيفية تحليل عينات من مسرح جريمة أو كيفية تفاعل دواء معين في جسم الإنسان.
- التعلم التعاوني: يمكن دمج المختبرات الافتراضيّة في منصات تتيح للطلاب العمل معًا في مجموعات، ومشاركة البيانات، ومناقشة النتائج، مما يلبي تفضيلات المتعلمين الذين يحبون العمل الجماعي.

3. توفير وسائلَ متعدِّدةٍ للعمل والتعبير (Action & Expression) "كيف نتعلّم": وهي تمثِّل كيفية التعلُّم، ويختلف الأفراد أيضًا في قدراتهم على المشاركة والتعبير. يهدف هذا المبدأ إلى إعطاء المتعلمين خيارات متنوعة للتعبير عن معرفتهم وإظهار ما تعلموه. وتحقق المختبرات الافتراضيّة هذا المبدأ بتقديم:

- أدوات متنوعة للتفاعل: يمكن للطلاب التفاعل مع بيئة المختبر باستخدام أدوات مختلفة مثل الفأرة، أو لوحة المفاتيح، أو شاشات اللمس، أو حتى تقنيات الواقع الافتراضيّ. هذا التنوع يناسب الطلاب ذوي القدرات الحركية المختلفة.
- دعم مدمج (Scaffolding): غالبًا ما تحتوي المختبرات الافتراضيّة على أدلة إرشادية خطوة بخطوة، وتلميحات، وبرامج تعليمية مدمجة يمكن للطلاب الوصول إليها عند الحاجة. هذا الدعم يساعد الطلاب على تنظيم أفكارهم وتخطيط خطواتهم والبقاء على المسار الصحيح لإكمال التجربة بنجاح.
- طرق تقويم مرنة: بدلًا من الاعتماد فقط على تقرير معملي مكتوب، يمكن تقويم فهم الطلاب من خلال طرق متعددة. على سبيل المثال، يمكن للمختبر الافتراضيّ تسجيل خطوات الطالب، أو طرح أسئلة قصيرة أثناء التجربة، أو مطالبة الطالب بتسجيل فيديو يشرح فيه ما قام به.

وبذلك، توفر المختبرات الافتراضيّة منصة قوية ومتكاملة لتطبيق مبادئ التصميم الشامل للتعلم، مما يجعل التعليم العلمي أكثر سهولة ومرونة وإشراكًا لجميع المتعلمين بغض النظر عن خلفياتهم وقدراتهم.

10.1.1.2 الأبعاد المؤثرة على توظيف المختبرات الافتراضيّة

إن نجاح تبني المختبرات الافتراضيّة في العملية التعليمية لا يعتمد على عامل واحد، بل هو نتاج تفاعل مجموعة من الأبعاد المتداخلة. وبناءً على ما أشار إليه كل من (Wu et al., 2022; Errabo et al., 2024)، يمكن تصنيف هذه الأبعاد المؤثرة على النحو التالي:

1. الأبعاد التكنولوجية (Technological Factors): وهي تتعلق بالبنية التحتية والخصائص التقنية للمختبر الافتراضيّ نفسه. وتشمل:

- التوافق وإمكانية الوصول: يجب أن تكون برمجيات المختبرات الافتراضيّة متوافقة مع مختلف الأجهزة وأنظمة التشغيل لضمان إمكانية الوصول لأكبر عدد من المستخدمين.
- البنية التحتية للاتصالات: يمكن أن يَعُوقَ الوصول المحدود إلى شبكة إنترنت مستقرة وعالية السرعة، أو الافتقار إلى الأجهزة الحاسوبية المتقدمة، تبني هذه المختبرات بفعالية، خاصة في المناطق التي تعاني من نقص في الخدمات.
- سهولة الاستخدام والموثوقية: إن تصميم واجهات سهلة الاستخدام، مع توفير إرشادات واضحة وتنقل بديهي، يعزز من تجربة المتعلم ويقلل من العبء المعرفي. كما أن موثوقية النظام للعمل بسلاسة ودون أعطال فنية أمر حاسم، خاصة في المحاكاة التي تتطلب استجابة في الوقت الفعلي.

- التكامل مع أنظمة إدارة التعلم (LMS): يُعد التكامل السلس مع المنصات التعليمية القائمة (مثل Moodle أو Blackboard) عاملًا مهمًا؛ مما يسهل على الطلاب والمعلمين الوصول للمختبر وتتبع التقدم ومزامنة البيانات.

2. الأبعاد التربوية (Pedagogical Factors): تركز هذه الأبعاد على مدى انسجام المختبر الافتراضيّ مع الأهداف التعليمية والممارسات التدريسية. وتشمل:

- المواءمة مع المناهج الدراسية: يجب أن يتوافق محتوى وتصميم المختبر الافتراضيّ بشكل دقيق مع أهداف المقررات الدراسية والمعايير التعليمية لضمان تحقيق الفائدة المرجوة.
- مستوى التفاعل والانغماس: تعزز المستويات العالية من التفاعل، كالقدرة على التعامل مع المتغيرات ومراقبة النتائج بشكل فوري، من فرص التعلم العميق وتنمية المهارات.
- الدعم والتوجيه التربوي: لا يكفي توفير المحاكاة فقط، بل يجب أن تقدم المختبرات الفعّالة دعمًا للمتعلم، مثل التعليمات الموجهة، أو التلميحات، أو آليات التغذية الراجعة الفورية لمساعدتهم على التغلب على التحديات.
- أصالة المحتوى والسياق: إن توفير سيناريوهات تحاكي مشكلات وتطبيقات من العالم الحقيقي يعزز من أهمية التجربة التعليمية ويحسن من قدرة المتعلم على نقل المعرفة المكتسبة إلى سياقات عملية.

3. الأبعاد المتعلقة بالمستخدم (User-Related Factors): تتعلق هذه الأبعاد بخصائص وخبرات كل من المعلم والطالب. وتشمل:

- الكفاءة الرقمية: يجب أن يمتلك المستخدمون (طلابًا ومعلمين) المهارات الرقمية الأساسية اللازمة للتعامل مع بيئة المختبر بفعالية. وقد يتطلب ذلك توفير تدريب كافٍ ومسبق.

- الدافعية والاتجاهات: تلعب دافعية المتعلم ورغبته في الاستكشاف والتجريب دورًا محوريًا في مدى استفادته. كما أن اتجاهات المعلمين الإيجابية نحو التكنولوجيا تؤثر بشكل مباشر على نجاح دمجها في التدريس.
- الحمل المعرفي: يجب أن يتناسب تعقيد تصميم المختبر مع القدرات المعرفية للمتعلمين. فالواجهات المعقدة أو تحميل الطالب بمعلومات زائدة يمكن أن يَعُوقَ عملية التعلم بدلًا من دعمها.

4. الأبعاد السياقية والمؤسسية (Contextual and Institutional Factors): تشمل البيئة الأوسع التي يتم فيها تطبيق المختبرات الافتراضيّة. وتتضمن:

- الدعم المؤسسي: يُعد الدعم المقدم من المؤسسات التعليمية (من حيث التمويل، وتوفير البنية التحتية، وتدريب المعلمين) أمرًا بالغ الأهمية لنجاح واستدامة استخدام المختبرات الافتراضيّة.
- القدرة على تحمل التكاليف: تؤثر تكاليف تراخيص البرامج، والصيانة، والتدريب بشكل مباشر على مدى انتشار هذه التقنية، خاصة في المؤسسات ذات الميزانيات المحدودة.
- السياق الثقافي والتعليمي: قد تختلف فعالية المختبرات الافتراضيّة بناءً على الثقافة السائدة تجاه التكنولوجيا وأساليب التدريس المتبعة في نظام تعليمي معين.
- الظروف الخارجية الطارئة: يمكن للأزمات، مثل جائحة كوفيد-19، أن تفرض واقعًا جديدًا يسرّع من تبني المختبرات الافتراضيّة كبديل ضروري للمختبرات التقليدية، مما يؤثر على سرعة الابتكار فيها.

5. أبعاد المحتوى والتخصص (Content and Discipline Factors): تتعلق بطبيعة المادة العلمية نفسها ومدى ملاءمتها للمحاكاة. وتشمل:

- ملاءمة التخصص للمحاكاة: بعض التخصصات كالفيزياء والكيمياء والهندسة بطبيعتها التجريبية تكون أكثر قابلية للمحاكاة الفعالة مقارنة بمجالات أخرى قد تتطلب تعديلات إبداعية.

- عمق ودقة المحتوى العلمي: يجب أن يتناسب عمق ودقة المحاكاة مع المستوى المعرفي للمتعلمين. فالمحتوى المبسط قد لا يكون كافيًا للطلاب المتقدمين، بينما المحتوى المعقد قد يكون صعبًا على المبتدئين.
- تعدد اللغات: يساهم توفير المحتوى بلغات متعددة في تحسين إمكانية الوصول إلى المختبرات الافتراضيّة وجعلها أداة عالمية.

11.1.1.2 معوقات وتحديات استخدام المختبرات الافتراضيّة

على الرغم من الفرص الواعدة التي تتيحها المختبرات الافتراضيّة، إلا أن تطبيقها يواجه العديد من العقبات والتحديات التي تحول دون الاستفادة الكاملة منها. وقد صنفت الأدبيات التربوية(Sanzana et al., 2024; العماري، 2023; العتيبي وعكيري، 2024; Hosni, 2023) هذه التحديات إلى مجالات رئيسية تشمل الجوانب التقنية، والتعليمية، والمالية، والتشغيلية، بالإضافة إلى التحديات الصحية والاجتماعية، ويمكن تفصيلها على النحو التالي:

أولا: المعوقات التعليميّة والمنهجيّة

قد يواجه الطلبة والمعلمون صعوبات في التكيف مع البيئة الافتراضيّة، مما يؤثر على نواتج التعلم. ومن أبرز هذه المعوقات:

1. غياب الخبرة الملموسة: تفتقر المختبرات الافتراضيّة إلى الواقعية الحسية (اللمس، الشم) وتقتصر غالبًا على السمع والبصر، مما يحد من اكتساب المهارات اليدوية الدقيقة التي توفرها المختبرات التقليدية(المنديل، 2020).
2. تشتت الانتباه: قد ينشغل الطلبة بالتقنية نفسها (الأجهزة والبرمجيات) بدلًا من التركيز على المحتوى العلمي والتجربة التعليمية(شواهين، 2019).

3. صعوبة التصميم والدمج: يعد دمج هذه المختبرات في المناهج الدراسية عملية معقدة، وتصميم التجارب لمحاكاة الظواهر المعقدة يتطلب فريق عمل متكامل من مبرمجين وخبراء مناهج وعلم نفس(العنزي والشهري، 2023).

ثانيًا: المعوقات التقنيّة:

تتطلب المختبرات الافتراضيّة بنية تحتية رقمية قوية ومستقرة، تشمل إنترنت عالي السرعة، وأجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية لمعالجة الرسوميات(Graphics) ، وتجهيزات متوافقة، وهو ما قد لا يتوفر في كافة المناطق أو المؤسسات التعليمية(الهادي والجبري، 2022). وتشير الدراسات إلى التحديات التالية:

1. البنية التحتية: ضعف شبكة الإنترنت أو انقطاعها، وعدم توفر عدد كافٍ من الأجهزة للطلاب(بلفقيه، 2020).
2. مشاكل التوافق: صعوبة توافق البرمجيات مع الأجهزة المتاحة، أو عدم وجود نسخ معربة من البرمجيات مما يشكل عائقًا لغير المتقنين للغة الإنجليزية(العنزي والشهري، 2023).
3. الموثوقية والأمن: المخاوف المتعلقة بأمن المعلومات وخصوصية البيانات السحابية، واحتمالية تعطل الخوادم التقنية(Errabo et al., 2024).
4. تعقيد الأجهزة: الحاجة إلى تدريب متخصص للتعامل مع أجهزة الواقع الافتراضيّ المعقدة مثل نظارات الرأس ومجسات الحركة(شواهين، 2019).

ثالثا: المعوقات المالية

تُشكل التكلفة حاجزًا كبيرًا أمام العديد من المؤسسات؛ حيث تتمثل في:

1. التكاليف التأسيسية: التكلفة المرتفعة لتطوير البرمجيات أو شراء التراخيص اللازمة، بالإضافة إلى شراء أجهزة ذات مواصفات خاصة(العتيبي وعكيري، 2024).

2. تكاليف التشغيل: النفقات المستمرة للصيانة، والتحديثات الدورية، وتوفير الدعم الفني المتخصص(المنديل، 2020).

رابعًا: معوقات اجتماعيّة وصحيّة:

لا تقتصر التحديات على الجوانب المادية، بل تمتد لتشمل الجوانب الإنسانية:

1. فقدان التفاعل الاجتماعي: يؤدي الاعتماد المفرط على البيئة الافتراضيّة إلى تقليل التفاعل المباشر بين الطالب والمعلم وبين الطلاب أنفسهم، مما يضعف مهارات العمل الجماعي والاتصال(شواهين، 2019).
2. المخاطر الصحية: قد يسبب الاستخدام المفرط لنظارات الواقع الافتراضيّ والشاشات إجهادًا للعين، وتوترًا للجهاز العصبي، بالإضافة إلى مخاوف من "الإدمان الرقمي" والهروب من الواقع الحقيقي(المنديل، 2020).

وبناءً على العرض السابق، تصنف الباحثة معوقات استخدام المختبرات الافتراضيّة في السياق المحلي إلى: معوقات تقنية (مثل ضعف التجهيزات والبرمجيات)، ومعوقات بشرية (تتمثل في قلة التدريب ومقاومة التغيير)، ومعوقات مادية. وتؤكد الباحثة أن التغلب على هذه المعوقات يتطلب توفير الإمكانات المادية، وتدريب أعضاء هيئة التدريس، والتركيز على الجانب التطبيقي لتهيئة الطلبة لسوق العمل.

2.1.2 المحور الثاني: المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (PLC)

مع التطور في مجال التكنولوجيا الذي شمل جميع مناحي الحياة تولدت رغبة لدى البشر بالتحكم بالأعمال وأتمتها من خلال إدارتها دون تدخل مباشر منهم، فظهرت المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة فقد عُدّت من أهم أدوات التحكم الصناعي التي أحدثت ثورة في قطاع الأتمتة. وبفضل قدرتها

على تنفيذ عمليات التحكم في الزمن الحقيقي، أصبحت تُستخدم في مجموعة واسعة من التطبيقات مثل التصنيع، والطاقة، والنقل(Goud et al., 2024)، تعتمد المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة على تقنيات البرمجة المعيارية والمرونة في تعديل العمليات، مما يسهم في تحسين الكفاءة وتقليل الأخطاء. مع التقدم في تقنيات الاتصالات وإنترنت الأشياء (IoT)، أصبحت المتحكمات متصلة بشكل أكبر بأنظمة الإدارة الذكية، مما يعزز القدرة على جمع البيانات وتحليلها لاتخاذ قرارات استراتيجية. هذا التطور ساهم في بناء مصانع ذكية تعتمد على الأتمتة المتقدمة، مما يدفع عجلة الابتكار في الاقتصاد العالمي ويُعزز من الإنتاجية والاستدامة(Omri et al., 2023).

1.2.1.2 مفهوم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تُعد أجهزة التحكم المنطقي القابلة للبرمجة حجر الزاوية في أنظمة الأتمتة الصناعية الحديثة. وبوصفها أجهزة إلكترونية رقمية متخصصة، فقد صُممت لتحل محل الدوائر الكهروميكانيكية التقليدية، موفرة بذلك درجة غير مسبوقة من الدقة والموثوقية والمرونة في التحكم بالآلات والعمليات الصناعية المعقدة.

وقد تعددت تعريفات المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بتعدد المداخل التقنية والتطبيقية، ويمكن تصنيفها ضمن محورين رئيسيين لفهم أبعاد المفهوم بشكل متكامل:

المحور الأول: المتحكم المنطقي القابل للبرمجة من حيث طبيعته وبنيته الأساسية

يركز هذا المحور على تعريف المتحكم المنطقي القابل للبرمجة من حيث مكوناته الأساسية وطبيعته كجهاز رقمي قابل للبرمجة، ومن أبرز التعريفات في هذا السياق:

يعرف الشمري(2018) المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بأنه "جهاز إلكتروني رقمي مبني اعتمادًا على المعالج الدقيق، ويحتوي على ذاكرة قابلة للبرمجة، تخزن فيها سلسلة من التعليمات، التي تمكنه

من أداء وظائف تحكم فعالة وعديدة مثل منطق عمل الحاكمات، وعمليات العد، والتوقيت، والتسلسل، والعمليات الحسابية".

ويعرف جيديكار وآخرون(Gadekar et al., 2021) المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بأنه "جهاز تحكم صناعي مصمم لاستبدال الأنظمة الكهروميكانيكية التقليدية باستخدام البرمجة والمنطق الرقمي، مما يتيح تحسينات في المرونة والأداء".

وأشـــار دريم(Dreiym, 2021) إلى أن المتحكم المنطقي القابل للبرمجة هو "جهاز إلكتروني مخصص للتحكم الصناعي، يُستخدم لتنفيذ عمليات التحكم المنطقي والبرمجة، ويتميز بإمكانية إعادة برمجته وفقًا لاحتياجات العمليات الصناعية".

تعقيب: يُلاحظ في هذه المجموعة من التعريفات أنها تتفق على جوهر المتحكم المنطقي القابل للبرمجة كـــــ "جهاز" إلكتروني رقمي، أســاســه المعالج الدقيق والذاكرة القابلة للبرمجة. كما تُبرز خصائصه البنيوية التي تميزه، وهي القدرة على استبدال الأنظمة القديمة، والمرونة العالية الناتجة عن إمكانية إعادة برمجته بسهولة.

المحور الثاني: المتحكم المنطقي القابل للبرمجة من منظور وظيفته المعيارية

يركز هذا المحور على الغاية من اســتخدام المتحكم المنطقي القابل للبرمجة، أي وظيفته في منظومة التحكم الصناعي، وكيف تُعرّفه الهيئات والمؤسسات المعيارية الدولية.

عرفته الجمعية الأمريكية لمهندســي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) بأنه "أداة قائمة على البرمجة تُستخدم للتحكم الآلي في العمليات الصناعية. يتلقى الجهاز إشارات من المدخلات المادية، ويعالجها وفقًا للبرنامج المخزن، ثم يُصدِر إشارات التحكم المناسبة"(ثائر، 2016).

وتعرفه المنظمة الدولية للمعايير (ISO) بأنه "نظام رقمي إلكتروني يستخدم لأتمتة عمليات التحكم، مبرمج بطريقة خاصة لأداء وظائف منطقية متسلسلة وتحكم مستمر بناءً على مدخلات النظام"(Mohammed, 2021).

وعرف هانغ(Hyung, 2024) المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة بأنها "أجهزة إلكترونية تُستخدم للتحكم في العمليات الصناعية عبر تنفيذ برامج مخصصة... وهي قادرة على مراقبة الإشارات من الأجهزة الخارجية (مثل الحساسات) وإصدار أوامر للأجهزة الأخرى (مثل المحركات والصمامات) بناءً على المنطق البرمجي".

تعقيب: تُبرز هذه التعريفات البُعد الوظيفي للمتحكم المنطقي القابل للبرمجة؛ حيث تصفه كنظام متكامل وظيفته الأساسية هي "الأتمتة" و"التحكم الآلي". كما تتفق على آلية عمله المتمثلة في استقبال الإشارات من المدخلات، معالجتها منطقيًا، ثم إصدار أوامر للمخرجات، وهو ما يؤكد على دوره كعقل مدبر في العمليات الصناعية.

خلاصة وتعريف الباحثة الإجرائي:

يتضح من العرض السابق أن التعريفات تتفق على أن المتحكم المنطقي القابل للبرمجة هو جهاز إلكتروني رقمي، يُعرَّف ببنيته القابلة للبرمجة من جهة، وبوظيفته المحورية في أتمتة العمليات الصناعية من جهة أخرى.

وبناءً على ما سبق، تتبنى الباحثة التعريف الإجرائي التالي للمتحكم المنطقي القابل للبرمجة: هو جهاز تحكم إلكتروني رقمي، يتم تحديد منطق عمله من خلال كتابة أوامر برمجية بلغات متخصصة، ويُستخدم بشكل أساسي في أتمتة العمليات الصناعية والتحكم فيها بدقة وموثوقية عالية؛ نظرًا لقدرته على العمل في البيئات الصناعية القاسية، ومرونته في تعديل المهام، وسهولة تكامله مع الأنظمة

الأخرى، ويقصد به في هذه الدراسة الأجهزة التي يتم تدريب الطلبة على برمجتها وتشغيلها سواء عبر المختبرات المادية أو الافتراضيّة.

2.2.1.2 تاريخ نشأة وتطور المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة

المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، أو ما تُعرف اختصارًا بـ (PLC)، هي أجهزة إلكترونية تم تطويرها للتحكم في العمليات الصناعية بطريقة تلقائية، تعمل المتحكمات كعقل إلكتروني ينفّذ برامج مبرمجة مسبقًا للتحكم في الآلات والمعدات، مثل خطوط الإنتاج في المصانع(Mohammed, 2021)، وظيفة المتحكمات هي استلام الإشارات من أجهزة الإدخال (مثل الحساسات والأزرار) ومعالجة هذه الإشارات بناءً على برنامج منطقي مخزن داخل الجهاز، ثم إرسال إشارات تحكم إلى أجهزة الإخراج كالمحركات والصمامات(موسى، 2020).

في بداية الستينيات، كان يتم التحكم في الآلات والمعدات باستخدام أنظمة التحكم التقليدية القائمة على الدوائر الكهروميكانيكية، مثل الريليهات (Relays). هذه الأنظمة كانت معقدة جدًا، ومكلفة عند الحاجة إلى تعديل العمليات، بالإضافة إلى صعوبة صيانتها(حرحوش، 2023)، مع تطور الصناعة وزيادة الطلب على خطوط إنتاج مرنة وقابلة للتعديل بسرعة، ظهرت الحاجة إلى نظام أكثر ذكاءً وكفاءة. وهنا جاءت فكرة تطوير جهاز إلكتروني يمكنه استبدال أنظمة الريليهات الميكانيكية وتقديم طريقة أكثر سهولة لتعديل العمليات الإنتاجية(Hassaan, 2021).

وفي عام 1968، طوّرت شركة جنرال موتورز (General Motors)، بالتعاون مع شركة Modicon، أول متحكم منطقي مبرمج، وكان يسمى Modicon 084. الهدف الرئيسي منه هو تحسين التحكم في خطوط إنتاج السيارات، وخاصة لتسهيل التعديل على أنظمة التحكم(Shatha et al., 2021)، زادت الشركات من استخدام المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في القطاعات الصناعية، وبدأت التحسينات

في البرمجة وطرق الاتصال، ثم ظهرت برمجيات حديثة لبرمجة المتحكمات، مثل لغات البرمجة الرسومية(Ladder Diagram)، وفي التسعينيات وما بعدها أصبحت المتحكمات أكثر تطورًا، مع قدرة على الاتصال بالشبكات واستخدام تقنيات الذكاء الصناعي والإنترنت(أبو منسي، 2016).

المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة ظهرت لتكون حلًا ذكيا وفعالًا لأنظمة التحكم التقليدية المعقدة، من بداياتها البسيطة في الستينيات إلى تطورها الكبير في العصر الحديث، أصبحت المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة العمود الفقري Hyung لمعظم الأنظمة الصناعية الحديثة، مما جعلها أداة لا غنى عنها في مجال الأتمتة والتحكم(Jiang et al., 2024)

3.2.1.2 أهمية المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تُعتبر المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة واحدة من أهم التقنيات في مجال الأتمتة الصناعية نظرًا لدورها الكبير في تحسين العمليات الصناعية وتعزيز كفاءتها، حتى أصبحت جزءًا لا غنى عنه في أي عملية صناعية أو نظام آلي، أصبحت تُستخدم في جميع القطاعات تقريبا بفضل مرونتها وقدرتها على التعامل مع تطبيقات متعددة لتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف مع ضمان أعلى مستويات الأمان والجودة(Al-Qaryouti, 2021).

تُستخدم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة اليوم في مجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية والتجارية مثل تشغيل خطوط الإنتاج وإدارة الأنظمة الأوتوماتيكية في المصانع، والتحكم في العمليات التي تتطلب توقيتًا دقيقًا، وكذلك التحكم في الروافع والآلات الثقيلة، وإدارة وتشغيل محطات توليد الكهرباء والتحكم في شبكات التوزيع وأنظمة الإضاءة التلقائية، وإدارة المصاعد والتكييف والأنظمة الأمنية، بالإضافة إلى العديد من المجالات الأخرى كصناعة التعدين والزراعة الذكية وصناعة السيارات والصناعات الكيميائية والدوائية(Jiang et al., 2024).

وتعمل المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة على أتمتة العمليات الصناعية، مما يقلل الزمن اللازم للإنتاج، وتتيح تشغيل الآلات بشكل مستمر ودقيق، مما يؤدي إلى زيادة حجم الإنتاج مع تقليل الفاقد، يمكن برمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة لتلبية متطلبات مختلفة للعمليات الصناعية مع تعديل العمليات دون الحاجة إلى تغييرات مادية في المعدات(أمين، 2015).

وقد تحسّن المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة الجودة من خلال قدرتها على التحكم الدقيق مما يسهم في تقليل الأخطاء البشرية ويساعد في مراقبة الجودة أثناء العملية الإنتاجية، وكذلك تقليل الحاجة إلى العمالة اليدوية في العمليات الروتينية، وتخفيف تكاليف الصيانة بفضل القدرة على تشخيص الأعطال بسرعة، فتُساعد هذه المتحكمات في حماية العمال والمعدات من خلال تطبيق أنظمة أمان متقدمة ومراقبة العمليات الصناعية باستمرار والتدخل عند اكتشاف أي خطأ محتمل كإيقاف التشغيل التلقائي عند وجود خلل(حرحوش، 2023).

4.2.1.2 مميزات المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تُعتبر المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة تقنية حديثة ومتقدمة تُوفر مجموعة واسعة من المزايا التي تجعلها ضرورية في الأتمتة الصناعية. تشمل أبرز هذه المزايا التي تم ذكرها في الدراسات التالية(Goud et al., 2024؛ Hyung, 2024؛ أمين، 2015):

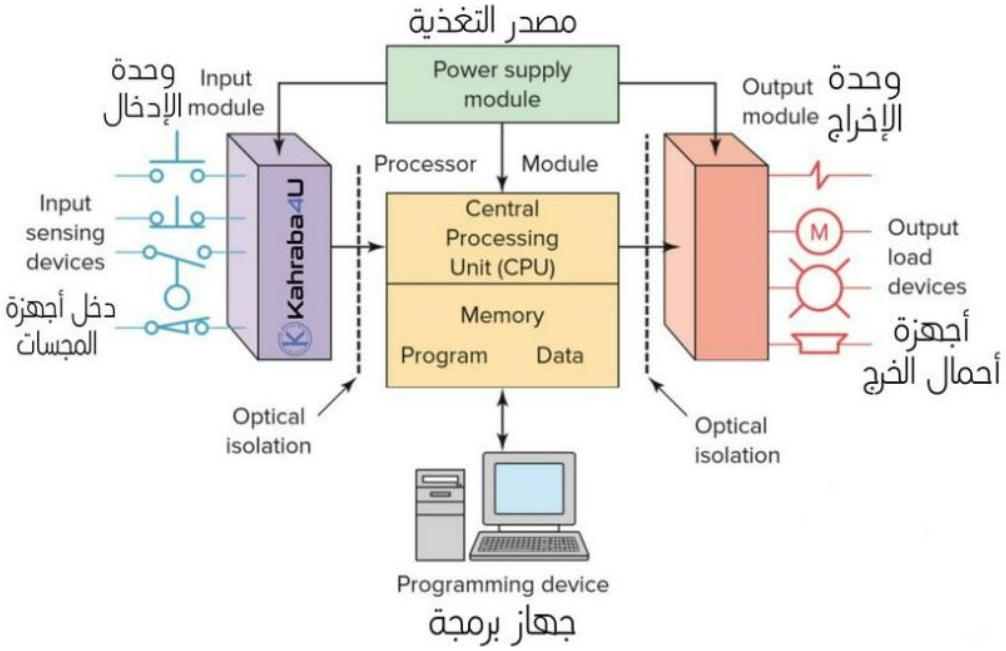
1. توفير الطاقة، تُساهم في تحسين استهلاك الطاقة من خلال التحكم الأمثل في العمليات الصناعية.
2. المرونة في البرمجة، يمكن برمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة بسهولة باستخدام لغات برمجة معيارية، مع تعديل هذه البرامج بطريقة بسيطة وسهلة لا تتطلب إحداث تغييرات مادية في الأجهزة وكيفية توصيلها، كذلك يمكن إعادة برمجة نفس المتحكم ليعمل مع أنظمة مختلفة، مما يجعله أداة مرنة للغاية.

3. الاعتمادية، مصـــممة للعمل في ظروف صـــناعية قاســـية مثل درجات الحرارة المرتفعة والغبار والرطوبة والاهتزازات، وتُوفر استقرارا وأداءً موثوقا على مدار فترات تشغيل طويلة.
4. سهولة التوصيل، تدعم التوصيل مع الحواسيب والأجهزة ويمكن إضافة وحدات إضافية بسهولة لزيادة عدد المدخلات والمخرجات.
5. الكفاءة والسرعة، قادرة على معالجة الإشارات بسرعة فائقة، مما يُقلل من زمن الاستجابة ويزيد من الإنتاجية.
6. انخفاض التكاليف، تُغني المتحكمات عن اســـتخدام أنظمة التحكم التقليدية المعقدة ذات التوصيلات والأسلاك الكثيرة. وتقلل الأعطال بفضل سهولة التشخيص وسرعة الإصلاح.
7. الكفاءة والسرعة، قادرة على معالجة الإشارات بسرعة فائقة، مما يُقلل من زمن الاستجابة ويزيد من الإنتاجية.
8. سهولة الصيانة، مزودة بأنظمة تشخيص ذاتية تساعد في اكتشاف الأخطاء بسرعة مع إمكانية مراقبة العمليات وإجراء تعديلات برمجية دون الحاجة لإيقاف النظام.
9. الأمان والســـلامة، تُوفر حماية مدمجة مثل أنظمة الإغلاق التلقائي عند حدوث عطل، وتُســـاعد في تقليل الأخطاء البشرية، مما يحسن من سلامة العمال.
10. صـــغر الحجم، تُغني عن الحاجة لمســـاحات كبيرة من اللوحات الكهربائية المســـتخدمة في الأنظمة التقليدية فهي صغيرة الحجم وتتناسب مع الأماكن الضيقة.
11. إمكـانيـة البرمجـة الزمنيـة، تتميز بـالقـدرة على برمجـة المؤقتـات **(Timers)** والعـدادات **(Counters)** لتشغيل العمليات أو إيقافها في أوقات محددة.

5.2.1.2 مكونات المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

المكونات الصلبة (Hardware)

تتكون المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من مجموعة من المكونات الأساسية التي تعمل معا لتحقيق وظائف التحكم المطلوبة(Dreiym, 2021). وكما يوضح الشكل (2)، تتألف البُنية الصلبة لهذه المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وحدات أساسيّة (Modules) يتم تركيبها على لوحة توصيل خلفية (Backplane)، والتي تُستخدم لربط الوحدات المختلفة معًا في الأنظمة القابلة للتوسيع. وتتميز بأنها معزولة عن بعضها البعض، بحيث لا يؤثر أي عطل في أيّ جزء من الأجزاء لا يؤثر على الأجزاء الأخرى، وتشمل المكونات الصلبة الأساسيّة: وحدات الدخل (Input Modules)، وحدات الخرج (Output Modules)، وحدة المعالجة المركزية (CPU)، وحدة مصدر القدرة (Power Supply Unit)، ووحدات أخرى مثل: وحدات الاتصال، والوحدات الخاصّة التي توجد في بعض الأجهزة. يلزم كذلك جهاز لبرمجة المتحكم المنطقي القابل للبرمجة؛ لإدخال برنامج التحكم، وتخزينه من مستخدم الجهاز؛ للتحكم بالآلة، أو العمليّة الصناعيّة(وزارة التربية والتعليم، 2020، 221).



الشكل (2): *المكونات الصلبة للمتحكم المنطقي القابل للبرمجة (وزارة التربية والتعليم، 2020، 221)*

وفيما يلي تفصيل لأهم هذه المكونات ووظائفها، وفقًا لما ورد في وزارة التربية والتعليم(2020):

- وحدة المعالجة المركزية (**CPU**) تُعد العقل المدبر للمتحكم المنطقي القابل للبرمجة؛ حيث تُنفذ جميع العمليات الحسابية والمنطقية وتتحكم في باقي المكونات، وتتكون من المعالج المسؤول عن معالجة البيانات، والذاكرة التي تخزن برنامج التشغيل والبيانات المؤقتة، وتقوم وحدة المعالجة المركزية بوظائف قراءة الإشارات من وحدات الإدخال وتنفيذ التعليمات وإرسال الأمور إلى وحدات الإخراج ومراقبة أداء النظام وتشخيص الأعطال.
- وحدات الإدخال (Input Modules) تتلقى الإشارات من الحساسات والأجهزة الخارجية وتُحولها إلى إشارات رقمية تُفهم بواسطة وحدة المعالجة المركزية، وتتنوع هذه الإشارات بين الإشارات القادمة من المفاتيح والأزرار والإشارات القادمة من الحساسات
- وحدات الإخراج (Output Modules) تُرسل الإشارات التي تعالجها وحدة المعالجة المركزية إلى الأجهزة التنفيذية لتحريكها أو تشغيلها. وتقسم الإشارات الصادرة عن وحدة الإخراج إلى إشارات رقمية لتشغيل أو إيقاف الأجهزة، وإشارات تماثلية للتحكم في الأجهزة وسرعة المحركات.
- وحدة التغذية الكهربائية (Power Supply) تُوفر الطاقة اللازمة لتشغيل المتحكم ووحداته المختلفة وتحويل الجهد الكهربائي من المصدر إلى الجهد المطلوب لتشغيل المتحكم، وتزويد الوحدات بالطاقة بشكل مستمر.
- وحدات الاتصال (Communication Modules) تُتيح للمتحكم الاتصال مع الأجهزة أو الأنظمة الأخرى عبر شبكات صناعية، وتعمل على مراقبة الأنظمة والتكامل مع الحواسيب وتبادل البيانات.
- واجهة البرمجة (Programming Device) تُستخدم لكتابة البرامج وتحميلها إلى وحدة المعالجة المركزية إما عن طريق الحاسوب أو أجهزة محمولة.
- ذاكرة المتحكم (Memory) تُخزن البرامج والبيانات الضرورية لتشغيل المتحكم وتضمن استمرارية العمل حتى بعد انقطاع التيار الكهربائي باستخدام بطاريات احتياطية.

6.2.1.2 أنواع المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تُقسم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة إلى نوعيّن رئيسيين بناءً على تصميمها وقدرتها على التكيف مع احتياجات النظام؛ المتحكمات المدمجة والمتحكمات القابلة للتوسيع. يتميز كل نوع بخصائص فريدة تجعله مناسبا لاستخدامات محددة.

أولًا: المتحكمات المنطقية المدمجة

تتميز المتحكمات المدمجة بتصميم متكامل يجمع بين وحدة المعالجة المركزية (CPU)، المدخلات والمخرجات، ووحدة التغذية الكهربائية في جهاز واحد، تتميز هذه المتحكمات بعدد محدود من المدخلات والمخرجات، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات البسيطة والصغيرة مثل التحكم في المصاعد، أنظمة الري الآلية، وتشغيل الأجهزة المنزلية أو الصناعية الصغيرة، بفضل تصميمها المدمج، تُعد هذه المتحكمات سهلة التركيب والصيانة، كما أن تكلفتها منخفضة نسبيا، ما يجعلها مثالية للتطبيقات الصغيرة والبسيطة التي لا تحتاج إلى توسع مستقبلي(Shatha et al., 2021).

ثانيًا: المتحكمات المنطقية القابلة للتوسيع

تتميز المتحكمات القابلة للتوسيع بمرونتها العالية؛ حيث تتكون من وحدات مستقلة مثل وحدة المعالجة المركزية (CPU)، وحدات الإدخال والإخراج، ووحدات الاتصال، ويمكن بسهولة إضافة أو إزالة هذه الوحدات لتلبية متطلبات النظام المتغيرة، مما يجعلها مثالية للأنظمة الصناعية المتوسطة والكبيرة، تُستخدم هذه المتحكمات في خطوط الإنتاج، محطات معالجة المياه، والأنظمة الصناعية المعقدة، وبفضل دعمها لأنواع متعددة من المدخلات والمخرجات، بما في ذلك الرقمية والتماثلية، وقدرتها على الاتصال بالشبكات الصناعية، تُعتبر هذه المتحكمات خيارًا مرنًا ومناسبًا للأنظمة ذات المتطلبات المتطورة، فهي مصممة لتلبية احتياجات الأنظمة الصناعية المتوسطة والكبيرة التي قد تحتاج إلى تطوير أو تعديل مستقبلي(Siemens, 2023).

7.2.1.2 كيفية عمل المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تعمل المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة وفق سلسلة من الخطوات المتتالية التي تتيح لها التحكم في العمليات الصناعية بفعالية وسرعة(Omri et al., 2023؛ Hugh, 2020) كما يلي:

تبدأ العملية بقراءة المدخلات؛ حيث يقوم المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بجمع الإشارات الواردة من الحساسات أو المفاتيح أو أي جهاز متصل به، سواء كانت هذه الإشارات رقمية (ON/OFF) أو تماثلية مثل الحرارة أو الضغط. بعد قراءة المدخلات، تنتقل البيانات إلى وحدة المعالجة المركزية (CPU) التي تعالج هذه البيانات بناءً على البرنامج المخزن فيها باستخدام لغات برمجة مثل Ladder Diagram أو Function Block Diagram. تقوم وحدة المعالجة المركزية باتخاذ قرارات بناءً على البرنامج وتحديد الأوامر المناسبة للمخرجات، مثل تشغيل أو إيقاف محركات أو ضبط سرعاتها. بعد ذلك، يتم إرسال هذه الأوامر إلى وحدات الإخراج مثل المحركات أو الأضواء لتنفيذها. تكرر هذه الدورة بشكل مستمر في دورة مسح سريعة؛ حيث يقوم المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بقراءة المدخلات، معالجتها، وتحديث المخرجات بسرعة عالية جدًا (عادة في حدود الملي ثانية). يعتمد المتحكم المنطقي القابل للبرمجة أيضًا على مكونات إضافية مثل العدادات (Counters) والمؤقتات (Timers) للتعامل مع العمليات المعقدة مثل تأخير التشغيل أو عد العمليات. في العديد من التطبيقات، يتكامل المتحكم المنطقي القابل للبرمجة مع أنظمة أخرى مثل أنظمة SCADA لمراقبة العمليات عن بُعد أو مع الشبكات الصناعية لتبادل البيانات مع أنظمة أخرى. طوال العملية، يقوم المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بمراقبة أداء النظام واكتشاف أي أعطال أو مشاكل قد تحدث، مما يضمن استمرارية العمل بشكل آمن وفعال.

8.2.1.2 العوامل المؤثرة على المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تتعدد العوامل التي تؤثر على أداء المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة، وتؤثر هذه العوامل في الكفاءة والقدرة على تنفيذ المهام(Zare, 2023؛ Thabet, 2021) كالتالي:

1. الطاقة الكهربائية

تعدّ مصدر الطاقة والجهد الكهربائي المناسب من العوامل الأساسية لتشغيل المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بكفاءة، فأي انقطاع أو تغير في الجهد قد يؤثر على أداء المتحكم، ولذلك من الضروري توفير مصدر طاقة مستقر لضمان استمرارية عمل النظام.

2. سرعة المعالجة

تؤثر سرعة وحدة المعالجة المركزية (CPU) في قدرة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة على معالجة البيانات وتنفيذ العمليات بسرعة في الأنظمة التي تتطلب استجابة سريعة، تكون سرعة المعالجة أمرا حاسما لضمان استجابة دقيقة في الوقت المناسب، كما أن زيادة تعقيد النظام أو العمليات يعني الحاجة إلى متحكمات منطقية قابلة للبرمجة بسرعة معالجة أعلى لتحقيق استجابة دقيقة.

3. سعة الذاكرة

تلعب سعة الذاكرة دورا مهما في تحديد قدرة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة على تخزين البيانات والبرامج المطلوبة، كلما زادت سعة الذاكرة، زادت قدرة المتحكم على التعامل مع برامج أكثر تعقيدًا وبيانات كبيرة الحجم، وأنواع الذاكرة المختلفة مثل الذاكرة العشوائية (RAM) وذاكرة القراءة فقط (ROM) وذاكرة الفلاش تؤثر في أداء المتحكم في التعامل مع البيانات وتنفيذ التعليمات.

4. بيئة التشغيل

تؤثر البيئة المحيطة في أداء المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؛ حيث إنّ الظروف البيئية مثل درجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة، بالإضافة إلى الرطوبة العالية، قد تؤدي إلى تدهور أداء المتحكم

أو تقصير عمره الافتراضيّ، كما أن الاهتزازات والضوضاء الكهربائية في البيئة الصناعية يمكن أن تؤثر في دقة عمل المتحكمات، لذلك من المهم تركيب المتحكم في بيئة مناسبة للحفاظ على استقراره.

5. نوعيّة المدخلات والمخرجات

تعتبر نوعيّة المدخلات والمخرجات التي يدعمها المتحكم المنطقي القابل للبرمجة من العوامل المهمة في تحديد قدرته على تنفيذ المهام بكفاءة، وتتنوع المدخلات والمخرجات بين الرقمية والتماثلية، وكلما كان المتحكم المنطقي القابل للبرمجة قادرًا على التعامل مع أنواع متعددة من المدخلات والمخرجات، كان أكثر قدرة على تلبية متطلبات الأنظمة المعقدة، كما أن عدد المدخلات والمخرجات المدعومة يؤثر في قدرة المتحكم المنطقي القابل للبرمجة على التعامل مع الأنظمة ذات الحجم الكبير أو العمليات المتعددة.

6. التوسع المستقبلي

تعد قدرة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة على التوسع والتكيف مع احتياجات النظام المستقبلية أحد العوامل المؤثرة في اختياره، فالمتحكمات التي تدعم إضافة وحدات توسعية أو تعديلات لتوسيع النظام بشكل مرن تسهم في ضمان استدامة النظام على المدى الطويل، مما يجعل المتحكم المنطقي القابل للبرمجة قابلًا للاستخدام في الأنظمة التي قد تحتاج إلى توسيع أو تحديثات في المستقبل.

7. نوع الاتصال والشبكات

تتطلب العديد من التطبيقات الصناعية قدرة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة على الاتصال بأنظمة أخرى عبر شبكات صناعية، وتعد جودة الاتصال بين المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة والأجهزة الأخرى عبر بروتوكولات مثل Ethernet أو Modbus من العوامل المؤثرة في كفاءة النظام، كما أن قدرة المتحكم المنطقي القابل للبرمجة على التفاعل مع أجهزة التحكم الأخرى تجعل التفاعل بين الأنظمة أكثر سلاسة، مما يساهم في تحسين الأداء الكلي.

8. التوافق مع الأجهزة الأخرى

يؤثر توافق المتحكم المنطقي القابل للبرمجة مع الأجهزة الأخرى المتصلة به مثل الحساسات والمحركات والصمامات في مدى نجاح النظام في تحقيق التكامل بين جميع المكونات؛ حيث تساهم القدرة على التفاعل مع أجهزة متعددة وبمختلف أنواع الإشارات في تحسين أداء النظام الشامل.

9. البرمجة والصيانة

سهولة البرمجة وصيانة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة تؤثر على سرعة تنفيذ التعديلات على البرامج وتصحيح الأخطاء. استخدام لغات برمجة متوافقة مع احتياجات النظام يسهل من عملية البرمجة والتحديث، كذلك يسهم توفر أدوات التشخيص والدعم الفني في حل أي مشاكل قد تظهر أثناء التشغيل.

10. التكلفة والميزانية

تعتبر التكلفة من العوامل الهامة التي تؤثر في اختيار نوع المتحكم المنطقي القابل للبرمجة المناسب؛ حيث تتطلب الأنظمة الكبيرة والمعقدة متحكمات منطقية مبرمجة أكثر تكلفة وأكثر قدرة، في حين أن الأنظمة البسيطة قد تتطلب متحكمات أقل تكلفة، لذلك يجب أن تكون التكلفة متناسبة مع ميزانية المشروع ومتطلبات النظام.

9.2.1.2 نظريات ومفاهيم تربويّة وتقنيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تم التطرق إلى عدة نظريات ومفاهيم تقنية تدعم تعليم المتحكمات القابلة للبرمجة من بين هذه النظريات والمفاهيم:

- التعلم القائم على المشاريع الرقمية

تتبنى استراتيجية التعلم القائم على المشاريع الرقمية فكرة التعلم المتمركز حول المتعلم، فمن خلال تنفيذ المشاريع بشكل فردي أو في مجموعات صغيرة، يتبادل المتعلمين المعرفة والآراء لمواجهة مشكلات

حقيقية من الواقع، فتصبح المعرفة أكثر عمقًا وثباتًا لديهم، وتمتاز الاستراتيجية بمواكبتها التطورات والمستحدثات التقنية، وتفاعل المتعلمين بكفاءة وسرعة أثناء تنفيذها، مما يُسهم في تنمية مهاراتهم الشخصية والتقنية، وخلق مجتمع رقمي يعزز دور المؤسسات التعليمية، لذا فإن الاستراتيجية تعتبر أحد طرق التصميم التعليمي التي تلائم الكثير من المهارات؛ حيث إنّها تشجع المتعلمين على إظهار كفاءاتهم المتنوعة عند تنفيذ المشاريع. ومما سبق يتضح أن استراتيجية التعلم القائم على المشاريع الرقمية أثبتت فاعليتها في تنمية مهارات المتعلمين المختلفة، في أثناء تنفيذ أنشطة المشاريع المطلوبة، لاسيما التفكير الناقد وحل المشكلات والتعاون والتعلم الذاتي والتي تمثل المهارات اللازمة لمتعلم القرن الحادي والعشرين(المالكي وآخرون، 2023).

- التعلم القائم على المحاكاة الإلكترونية

تعتبر المحاكاة أسلوبًا تعليميًا يستخدمه المعلم عادة لتقريب الواقع الذي يصعب توفيره للمتعلمين أو توفير بيئة تفاعلية؛ حيث تتاح الفرصة للمتعلم للتحكم في الأحداث من حيث إمكانية تكرارها أو من حيث حدوثها وفيها يكون المتعلم مسؤولا عما يتخذ من قرارات دون وجود مخاطر عليه، بهدف إتقان المهارة وأدائها بنجاح(طراد، 2021).

وتوفر المحاكاة للمتعلمين بعض الخصائص والمزايا التي تجعل من استخدامها في التعليم أهمية كبيرة. فقد ذكر(مطيري وتركي، 2023) أن المحاكاة تتقبّل خطأ المتعلم في قراره دون وقوع ضرر عليه، وأيضًا يمكن للمحاكاة التدريب على تشغيل الأجهزة أو القيام بالتجارب مرتفعة التكلفة، ويمكن أيضًا تلافي خطر الوقوع في خطأ أثناء تدريب طلاب الطب خوفًا من أخطاء التشخيص أو العلاج.

وترى الباحثة بأن المحاكاة في المختبرات الافتراضيّة نظامًا يُستخدم كبديل لبعض الأنشطة بهدف تقريب المفاهيم للمتعلمين وجعلها أكثر واقعية؛ حيث تُتيح تقليد مواقف أو أنشطة من الحياة الحقيقية، وتجارب مما يُسهم في تعزيز التعلم العملي والتفاعلي. وتُستخدم هذه التقنية أيضًا لمحاكاة الأنظمة

الصناعية والتقنيات المتقدمة رقميًا، مما يتيح للطلبة التفاعل مع بيئات محاكاة مثل محاكي المتحكم المنطقي القابل للبرمجة الافتراضيّ، الذي يُمكنهم من تجربة عمليات التحكم والأتمتة دون الحاجة إلى أجهزة فعلية. وتكمن أهمية هذه المحاكاة في توفير تجربة تعليمية آمنة وفعالة، تُغني عن أخطار التعامل المباشر مع الأجهزة الحقيقية، مما يُسهم في تطوير مهارات الطلبة في بيئة تعليمية تفاعلية وآمنة.

- نظرية التحكم الآلي والأتمتة

التحكم الآلي هو أحد المجالات الهندسية التي تهدف إلى تطوير أنظمة قادرة على التفاعل مع المتغيرات المختلفة بشكل مستقل، مما يساهم في تحسين الأداء وتقليل الحاجة إلى التدخل البشري المستمر. وتعتمد هذه النظرية على نماذج رياضية لتمثيل العمليات الديناميكية وتصميم استراتيجيات تحكم تضمن استقرار الأنظمة وتحقيق استجابات دقيقة وفقًا للمدخلات المتاحة.

ففي تطبيقات الأتمتة الصناعية، تلعب المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة دورًا أساسيًا في تنفيذ استراتيجيات التحكم المختلفة؛ حيث تتيح برمجتها للتعامل مع عمليات التصنيع والإنتاج بكفاءة عالية. يتيح استخدام المحاكاة الرقمية فرصة مثالية لاختبار سلوك أنظمة التحكم في بيئة افتراضيّة، مما يقلل من الحاجة إلى الأجهزة الفعلية ويضمن تجربة تعلم آمنة وخالية من المخاطر (Ahmed et al., 2021). ومن ثم ينقسم التحكم الإلكتروني إلى نوعيّن تبعا لنوع الإشارات التي تتفاعل فيه (شركة يات لحلول التعليم، 2020):

1. أنظمة التحكم التماثلي (Analog Control Systems): وهي أنظمة تحكم تتفاعل فيها إشارات تماثلية.
2. أنظمة التحكم الرقمي (Digital Control Systems): وهي أنظمة تحكم تتفاعل فيها إشارات رقمية، ومن أهمها أنظمة التحكم بواسطة الحاسوب (Computer Control Systems).

أنواع التحكم الآلي

- نظم التحكم التقليدية (CCS: classic control system) وهو يعتمد على أنظمة التحكم التقليدية.
- التحكم الرقمي المباشر (DDC: Direct Digital Control): للحاسوب هنا دور أساسي في عملية التحكم، فهو يقوم مقام دوائر التحكم بواسطة برامج تحكم خاصة.
- المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC: Programmable Logic Controller): العديد من العمليات الصناعية تتم بطريقة تتابعية (sequential). حيث يتولى ترتيب عملية التصنيع برمتها، فيشغل السيور أو يوقفها، ويفتح الصمامات أو يغلقها الخ، وذلك وفق تسلسل منطقي معين.
- التحكم الإشرافي مع نظم كسب البيانات (SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition) للحاسوب فقط دور إشراف ومتابعة (Monitoring) لعملية التحكم. أما التحكم الفعلي فتقوم بها دوائر تحكم تماثلية.
- نظم التحكم الموزع (DCS: Distributed Control Systems) هو أحد أنظمة التحكم الصناعية المبنية على أساس توزيع المهام بدلا من تركيزها في موقع واحد. لهذا النظام العديد من التطبيقات الصناعية والطبية مثل التحكم المروري المتقدم ومصانع الأدوية(شركة يات لحلول التعليم، 2020).

10.2.1.2 التحديات التي تواجه المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

تواجه المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة عدة تحديات قد تؤثر على أدائها وفعاليتها في التحكم في الأنظمة الصناعية. من بين هذه التحديات(Lee, 2022؛ Eied et al., 2019)

1. التداخل الكهرومغناطيسي

تتعرض المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة للتداخل الكهرومغناطيسي من مصادر متعددة مثل المحركات الكهربائية والمعدات الصناعية الأخرى. هذا التداخل قد يؤثر في دقة الإشارات المدخلة والصالحة للمعالجة، مما قد يؤدي إلى أعطال أو تشويش في النظام. لضمان الأداء الجيد، يحتاج

المتحكم المنطقي القابل للبرمجة إلى الحماية ضـد هذه التأثيرات، سـواء من خلال التصـميم الجيد أو استخدام فلاتر كهرومغناطيسية.

2. الأعطال الميكانيكية والتحديات البيئية

يمكن أن تؤدي الظروف البيئية مثل الحرارة المرتفعة أو الرطوبة إلى التأثير سلبًا على أداء المتحكم المنطقي القابل للبرمجة. كما أن الأنظمة التي تعمل في بيئات مليئة بالاهتزازات أو الضوضاء يمكن أن تواجه صعوبة في الحفاظ على استقرار أدائها. يجب ضمان أن يكون المتحكم مصممًا لتحمل هذه الظروف، مع مراعاة ضرورة تركيب المتحكم في بيئة مناسبة.

3. الأمن السيبراني

مع تزايد الاعتماد على الشبكات المتصلة والأنظمة الصناعية الذكية، أصبح الأمن السيبراني أحد التحديات الرئيسية. يمكن أن تكون المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة عرضة للهجمات الإلكترونية التي قد تؤدي إلى اختراق النظام أو تعطيله، ولذلك يتطلب الأمر اتخاذ تدابير لحماية المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من الهجمات الإلكترونية، مثل استخدام جدران نارية وتقنيات تشفير البيانات.

4. تحديث البرمجيات والصيانة

عملية صيانة المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة قد تكون صعبة إذا كانت الأنظمة تستخدم برامج معقدة أو تحتوي على مكونات قديمة. في حالة حدوث خلل في النظام، قد يصعب تشخيص الأخطاء أو إصلاحها بسرعة. بالإضافة إلى ذلك، قد يتطلب تحديث البرامج أو إضافة ميزات جديدة مهارات متخصصة وأدوات برمجية مخصصة

5. محدودية الذاكرة وسرعة المعالجة

قد يواجه المتحكم المنطقي القابل للبرمجة بعض القيود في الذاكرة وسرعة المعالجة عند التعامل مع أنظمة كبيرة أو برامج معقدة. إذا كان النظام يتطلب معالجة كمية كبيرة من البيانات بسرعة عالية، فقد تظهر مشاكل في الأداء. قد تكون هذه القيود صعبة في الأنظمة المتطورة أو التطبيقات التي تتطلب استجابة فورية.

6. تعقيد البرمجة

تحتاج بعض التطبيقات الصـــناعية إلى برامج معقدة جدا لضـــبط عمليات التحكم، مما يجعل البرمجة والتعديل على المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة أمرًا صـعبًا. يمكن أن يواجه المهندسـون صعوبة في برمجة الأنظمة التي تتطلب مزيجا من اللغات البرمجية أو الأنظمة التي تتضمن عمليات معقدة ومتعددة، وهذا يتطلب مهارات عالية وتدريبًا متواصلًا.

7. التكاليف المرتفعة

من العوامل التي قد تشكل تحديًا هي التكلفة المرتفعة للمتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة ذات الإمكانيات العالية. الأنظمة التي تتطلب متحكمات منطقية قابلة للبرمجة قوية وذات قدرة عالية قد تحتاج إلى ميزانية ضخمة، مما قد يجعل التكلفة تحديًا أمام بعض الصناعات أو المشاريع ذات الميزانية المحدودة.

8. الاعتمادية على الطاقة الكهربائية

تعتمد المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة بشكل كبير على مصدر الطاقة الذي قد يتعرض للانقطاع أو تقلبات الجهد. هذا يمكن أن يؤدي إلى تعطل النظام أو حدوث أعطال في حال عدم وجود مصدر طاقة احتياطي موثوق، لذلك يجب أن يكون هناك مصدر طاقة احتياطي لضمان استقرار النظام مثل UPS (نظام الطاقة غير المنقطع) لتفادي هذه المشكلة.

3.1.2 توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة

1.3.1.2 نماذج من بيئات المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة

- Factory I/O (Factory Input / Output)

يُعد Factory I/O، الذي طورته شـركة Real Games، أحد أشـهر وأكثر المختبرات الافتراضـيّة انتشارًا في البيئات الأكاديمية والتدريبيّة حول العالم؛ إذ صُمِّمَ المختبر الافتراضيّ خصيصًا ليكون أداة

تعليميّة تهدف إلى سـد الفجوة بين المفاهيم النظرية لبرمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة والتطبيقات الصـناعيّة العمليّة على أرض الواقع. يتميز المختبر الافتراضـيّ ثلاثي الأبعاد بواجهة مسـتخدم رسـوميّة، ومكتبة غنيّة تضـم أكثر من 20 مشـهدًا صـناعيًا جاهزًا، بالإضـافة إلى توافقيته العالية مع معظم أنواع وحدات التحكم من الشركات الرائدة مثل Siemens، Allen-Bradley

كما يدعم المختبر الافتراضـيّ الانغماس الكامل عبر تقنيّة الواقع الافتراضـيّ (Virtual Reality) مما يعزز من واقعيّة التجربة التعليميّة ويجعله مثاليًا لتطوير مهارات البرمجة واسـتكشـاف الأخطاء وإصلاحها.

- Automation Studio ™

يُعد Automation Studio ™، من تطوير شـركة Famic Technologies، عبارة عن منصـة هندسـيّة متكاملة تتجاوز محاكاة المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة لتوفر بيئة تصـميم ومحاكاة متقدمة شـاملة لمختلف تقنيات الأتمتة الصـناعية، ولا يقتصـر Automation Studio ™ على محاكاة المخطط السـلمي، بل يتيح تصـميم ومحاكاة الدوائر النيوماتية، والهيدروليكية، والكهربائية بشـكل متكامل. حيث صُـممت مكوناته وفقًا لمعايير الصـناعة الدوليّة (ISO)، كما يُوفر أدوات تحليل متقدمـة، ممـا يجعلـه أداة قويّـة لا تقتصـر على التعليم، بـل لأغراض البحـث والتطوير(Famic Technologies, 2023). نظرًا لشمولية Automation Studio ™، يُناسب المقررات الدراسيّة المتقدمة التي تتطلب فهمًا عميقًا للتفاعل بين أنظمة التحكم المختلفة.

- CIROS ®

يُعد CIROS ®، الذي تم تطويره بالتعاون مع Festo Didactic، هو منصـة محاكاة متقدمة تركز بشـكل أسـاسـيّ على مجال الميكاترونيكس والروبوتات الصـناعيّة، يتخصـص CIROS في محاكاة

خلايا العمل الروبوتيّة، وخطوط الإنتاج المؤتمتة بالكامل، كما يوفر بيئة برمجيّة شـــاملة لنمذجة العمليات، وبرمجة الروبوتات ودمجها ضـــمن نظام تحكم مُدار بواســطة المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة.

يتميز CIROS بمحرك فيزيائيّ قويّ قادر على محاكاة التصـــادمات والتفاعلات الميكانيكيّة بدقة عالية، مما يجعله الخيار الأمثل للمقررات المتقدمة في هندســـة الميكاترونيكس وهندســـة الأتمتة الصناعيّة – الروبوتات. (Festo Didactic, n.d.).

- Emulate3D ™

Emulate3D ™، الذي يُعد جزءًا من شـركة Rockwell Automation، هو أداة محاكاة ديناميكية قوية ومتقدمة، موجهة بشكل أساسي للقطاع الصناعي. يُستخدم Emulate3D ™ لإنشاء توأم رقمي (Digital Twin) دقيق لخطوط الإنتاج، مما يســـمح للشـــركات باختبار إنتاجية النظام وتحديد الاختناقات وإجراء اختبار افتراضـــيّ شـامل (Virtual Commissioning) للكود البرمجي قبل تطبيقه على أرض الواقع. يتكامل Emulate3D ™ بشـــكل وثيق مع منصـــات التحكم الخاصـــة بشـــركة Rockwell Automation، ويتميز بقدرات عاليّة في محاكاة حركة المُنتجات وتدفقها عبر الأنظمة اللوجستية. (Rockwell Automation, n.d.)

- PLCLogix

يُعد PLCLogix مختبرًا افتراضـيّا ومنصـة محاكاة متقدمة، مصـممة خصـيصًـا لمحاكاة وحدات التحكم القابلة للبرمجة من سـلسـلة Rockwell Logix 500، Logix 500. يتجاوز PLCLogix مجرد محاكاة المخطط السلمي (Ladder Logic)، لتوفير بيئة تفاعلية ثلاثيّة الأبعاد، تضـم عوالم افتراضـيّة متنوعة مثل الإشارات المرورية، والمصاعد، وخطوط التعبئة.

يســـمح هذا التكامل للطلبة بربط المفاهيم البرمجية النظرية المجردة، كالمؤقتات والعدادات، بتطبيقات عمليّة مرئيّة، مما يُعزز الفهم العميق للعلاقة بين الكود البرمجي والعمليات الصـــناعيّة. ونظرًا لتركيزه الدقيق على محاكاة وحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة الفعلية المُســـتخدمة بكثرة في الصـــناعة، يُعتبر PLCLogix أداة مثالية للمقررات الدراســـيّة التي تهدف إلى بناء كفاءة متخصصة في برمجة وتشغيل أنظمة التحكم المنطقي القابل للبرمجة(PLCLogix, n.d.).

2.3.1.2 الصعوبات والتحديات في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة عبر المختبرات الافتراضيّة

على الرغم من الفوائد العديدة التي توفرها المختبرات الافتراضيّة، إلا أن هناك عددًا من التحديات والصعوبات التي قد تواجه تنفيذها في تعليم المتحكمات القابلة للبرمجة، كما يُشير هاريتمان(Haritman et al., 2018, p. 3):

1. محدودية التفاعل مع المشرفين:

في المختبرات التقليدية، يتفاعل الطلبة بشكل مباشر مع المشرفين والمدربين الذين يمكنهم توجيههم وحل المشكلات فورًا. أما في المختبرات الافتراضيّة، فقد يواجه الطلبة صعوبة في طلب المساعدة أو الحصول على تغذية راجعة فورية عند مواجهة مشكلات في تنفيذ التجارب.

2. التحديات التقنية والبنية التحتية:

تعتمد هذه المختبرات بشكل أساسي على اتصال مستقر بالإنترنت، وقد يواجه بعض الطلاب مشاكل تقنية مثل ضعف الشبكة أو نقص الأجهزة المناسبة لاستخدام المختبرات الافتراضيّة بكفاءة.

3. محدودية الوصول إلى الأجهزة المادية:

بينما توفر المختبرات الافتراضيّة محاكاة دقيقة للعمليات، إلا أنها لا تعوض بشكل كامل عن التجربة العملية على المعدات الحقيقية. قد يواجه الطلاب صعوبة في التعامل مع مكونات الأجهزة الفعلية مثل الأسلاك والمفاتيح الكهربائية والمستشعرات، مما قد يؤثر على مستوى فهمهم العملي.

4. أمان البيانات والتحكم عن بعد:

نظرًا لأن المختبرات الافتراضيّة تعتمد على الاتصال بالإنترنت، فإن هناك تحديات تتعلق بـ أمان البيانات وحماية الوصول. قد يكون هناك حاجة إلى أنظمة مصادقة قوية لضمان عدم اختراق التجارب العملية أو تعديلها بشكل غير مصرح به.

5. التكاليف الأولية لتطوير المختبرات الافتراضيّة:

على الرغم من أنها أقل تكلفة على المدى الطويل، إلا أن إنشاء مختبر افتراضيّ متكامل يتطلب استثمارات أولية كبيرة في البرمجيات، والخوادم، والتدريب على استخدامها.

رغم أن المختبرات الافتراضيّة تقدم حلولًا عملية لتعليم المتحكمات القابلة للبرمجة، إلا أن هناك تحديات بارزة قد تؤثر على فعالية هذا الأسلوب التعليمي. تتمثل هذه التحديات في عدد من الجوانب التقنية والتعليمية والإدارية التي قد تؤثر على تجربة المتعلم وتفاعله مع المحتوى العملي(Foster et al., 2010, pp. 2-3) منها:

1. الفجوة بين المحاكاة والتطبيق العملي

يُعد أحد التحديات الرئيسية في استخدام المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة هو الفجوة بين التجربة الافتراضيّة والتجربة العملية الفعلية. في بيئة صناعية حقيقية، يحتاج الطلاب إلى التعامل مع المعدات المادية، والتفاعل مع الأنظمة الكهربائية، وفهم تأثير العوامل البيئية على التشغيل. بينما توفر المحاكاة بيئة تدريبية قريبة من الواقع، إلا أنها لا تعوض بالكامل عن الخبرة المباشرة في التعامل مع الأجهزة المادية.

2. صعوبة استيعاب البرمجة المنطقية (Ladder Logic) عن بُعد

إحدى الصعوبات التي تواجه الطلاب عند استخدام المختبرات الافتراضيّة هي برمجة المتحكم المنطقي القابل للبرمجة باستخدام لغة مخطط السلم (Ladder Logic)، التي تختلف عن لغات البرمجة التقليدية مثل C++ أو Python. الطلاب الذين لديهم خلفية في البرمجة التقليدية قد يجدون صعوبة في التكيف مع منطق البرمجة الرسومي المستخدم في المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، لا سيما في ظل غياب وجود مشرف عملي يمكنه تصحيح الأخطاء أو تقديم تغذية راجعة فورية.

3. التحديات التقنية ومتطلبات الاتصال

تتطلب المختبرات الافتراضيّة بيئة تقنية متكاملة تشمل اتصالًا عالي السرعة بالإنترنت، وبرمجيات متخصصة، ودعمًا فنيًا مستمرًا .يمكن أن يؤدي ضعف الاتصال أو عدم توفر الأجهزة المناسبة إلى مشكلات في التفاعل مع بيئة المحاكاة، مما قد يؤثر على تجربة التعلم. كما أن بعض الطلبة قد لا يكون لديهم أجهزة حاسوب ذات مواصفات كافية لتشغيل المختبرات الافتراضيّة بسلاسة.

4. الحاجة إلى بيئة تعلم تفاعلية وداعمة

على الرغم من أن المختبرات الافتراضيّة توفر مرونة في الوصول إلى المحتوى، إلا أن افتقارها إلى التفاعل المباشر مع المشرفين أو الزملاء قد يجعل الطلاب يواجهون صعوبات في حل المشكلات بشكل مستقل. في المختبرات التقليدية، يمكن للطلاب طرح الأسئلة مباشرة على المشرفين، ومناقشة التحديات مع زملائهم، بينما في البيئة الافتراضيّة، قد يكون الوصول إلى الدعم أقل سهولة، مما قد يؤثر على فهم الطلاب لمفاهيم التحكم الصناعي.

5. التكاليف الأولية لإنشاء المختبرات الافتراضيّة

على الرغم من أن المختبرات الافتراضيّة توفر حلًا فعالًا من حيث التكلفة على المدى الطويل، إلا أن تطوير بيئة تعليمية افتراضيّة متكاملة يتطلب استثمارات كبيرة في البرمجيات، والبنية التحتية،

والتدريب .تحتاج المؤسسات التعليمية إلى تأمين برامج محاكاة متقدمة، وخوادم قوية، ومصادر تعليمية تفاعلية، وهو ما قد يشكل تحديًا خاصةً للجامعات التي تعاني من محدودية الموارد.

6. التقويم والمتابعة الفعالة للأداء

من الصعب تقويم مدى استيعاب الطلاب لمفاهيم التحكم المنطقي الصناعي في وحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة بدقة في البيئة الافتراضيّة؛ إذ أن التقويم التقليدي يعتمد غالبًا على الاختبارات النظرية، بينما يحتاج التعلم العملي إلى متابعة مباشرة وتحليل أداء الطلاب في تنفيذ التجارب. لذلك، فإن المختبرات الافتراضيّة قد تحتاج إلى تطوير أدوات تحليل أكثر تقدمًا لمتابعة مدى تقدم الطلاب في فهمهم العملي.

رغم أن المختبرات الافتراضيّة توفر حلًا مرنًا وفعالًا لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، إلا أن هناك عددًا من التحديات التي تحتاج إلى معالجة لضمان تحقيق تجربة تعليمية متكاملة. يتطلب تحسين كفاءة هذه المختبرات تطوير أدوات تقويم أكثر دقة، وتعزيز التفاعل مع المشرفين، وتحسين تقنيات المحاكاة لتكون أقرب إلى الواقع.

2.2 الدراسات السابقة ذات الصلة

يتناول هذا الجزء عرضا تحليليًا لعدد من البحوث والدراساتِ السَّابقة المرتبطة بموضوع الدراسة الحالية، وذلك للتعرف على مجالها وأهدافها وإجراءاتها، وأبرز ما خلصت إليه من نتائج، وذلك بهدف الاستفادة منها في الدراسة الحالية، ثُمَّ التعقيب عليها، هذا، وقد صُنِّفت البحوث والدراسات السابقة في محورين رئيسين هي:

1.2.2 الدراسات المتعلقة بتوظيف المختبرات الافتراضيّة (الواقع، التحديات، الآثار المتوقعة)

1.1.2.2 عرض الدراسات السابقة (الخاصة بالمحور الأول)

من أجل تطبيق المبادئ في التعليم العام، سعت دراسة **لي وتشونغو(Lee & Chongo, 2025)** إلى تقويم الفعالية المزدوجة للمختبرات الافتراضيّة في تحسين التحصيل الأكاديمي والدافعيّة معًا لدى طلاب الصف الخامس في ماليزيا في موضوع الكهرباء، وهو موضوع يشتهر بصعوبته التجريديّة. اعتُمد المنهج شبه التجريبي بتصميم قبلي وبعدي؛ إذ قُسِّمَت عينة قصديّة من (40) طالبًا إلى مجموعة تجريبيّة تعلمت عبر مختبر افتراضيّ، ومجموعة ضابطة تعلمت بالطرق التقليديّة. خَلُصت النتائج إلى وجود فرق دال إحصائيًا في النتائج التي تم جمعها عبر الاختبار التحصيلي واستبانة الدافعية كأدوات دراسة؛ إذ كان الفرق الدال إحصائيًا لصالح المجموعة التجريبيّة في كلا المتغيرين (التحصيل والدافعيّة). ورغم أن الدراسة لم تقدم توصيات محددة، إلا أن نتائجها تمثل توصية ضمنية قوية بدمج المختبرات الافتراضيّة في المراحل المبكرة من التعليم لتعزيز الجوانب المعرفية والوجدانية معًا. وبرزت أهمية هذه الدراسة في تقديمها دليلًا تجريبيًا حديثًا من خارج السياق الجامعيّ، يؤكد على أن فوائد المختبرات الافتراضيّة لا تقتصر على الجانب المعرفيّ (التحصيل)، بل تمتد لتشمل الجانب الوجدانيّ (الدافعيّة)، وهذا ما يُعزز من تجربة التعلُّم الشاملة.

هدفت دراسة **مسوكوا وأوتشياما**(**Msukwa and Uchiyama, 2025**) إلى تصميم وتطبيق مختبر افتراضيّ مُتقدم لتعليم هندسة التحكم في سياق التعليم الجامعي باليابان، مع التركيز على إنشاء محتوى تفاعلي وتعزيز التعاون بين الجامعة والصناعة. اعتمدت الدراسة على منهجيّة التصميم والتطوير، وبالتالي لم تتضمن عينة بشرية لتقويم الأثر، بل ركزت على بناء النظام نفسه. استخدمت أدوات برمجيّة متقدمة مثل (**MATLAB & live Editor**) لإنشاء نصوص تعليميّة تفاعليّة، و (**Simulink Multibody**) لتوفير تصورات ثلاثيّة الأبعاد واقعيّة للأنظمة الديناميكيّة. وتوصلت الدراسة إلى تصميم إطار عمل متكامل يُقدم للطلاب تجارب تعليميّة مرنة، كما قدمت نموذجًا للتعاون بين الجامعة والصناعة. وأوصت الدراسة بضرورة تبني هذا النموذج لتجسير الفجوة بين الأوساط الأكاديمية والصناعيّة وتحقيق "التعليم المُستدام" من خلال توفير موارد تعليمية قابلة لإعادة الاستخدام. كما قدمت الدراسة نموذجًا للتعاون؛ حيث تقوم الصناعة بتزويد الجامعة بنماذج رياضيّة لمشاكل حقيقيّة، ويقوم الطلاب بتصميم حلول التحكم واختبارها في بيئة المختبر الافتراضيّ الآمنة. وتبرز أهميّة هذه الدراسة في تركيزها على الجانب البيداغوجي لتصميم المحتوى الرقميّ، وإظهار كيف يُمكن للتصورات الواقعيّة ثلاثيّة الأبعاد أن تُعزز فهم الطلاب بشكل يتجاوز الرسوم البيانيّة التقليديّة، بالإضافة إلى تقديمها آليّة عمليّة لتجسير الفجوة بين الأوساط الأكاديمية والصناعيّة.

في دراسة نظرية تأسيسية حديثة، قدم **بافلو وزكريا**(Pavlou & Zacharia, 2024) توليفًا شاملًا للمنظورات النظرية والتجريبية حول استخدام المختبرات المادية (**PL**) والافتراضيّة (**VL**) في تعليم مجالات العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات. هدفت الدراسة، التي أجريت في جامعة قبرص، إلى تجاوز سؤال "أيهما أفضل؟" والتوجه نحو فهم ظروف الاستخدام الأمثل لكل نوع منهما. معتمدةً على المنهج الوصفي التحليلي القائم على المراجعة المنهجية للأدبيات، لم تعتمد الدراسة على عينة بشرية مباشرة، بل تمثلت عينتها في مجموعة واسعة من الأبحاث والدراسات السابقة في المجال. واستخدمت

أطرًا نظرية مثل "الإدراك المجسّد" و"المنظورات اللمسية" كأدوات للتحليل. توصلت النتائج إلى أن كلا النوعيّن من المختبرات يمتلك ميزات متكاملة لا يمكن لأحدهما تعويضها بالكامل؛ فالمختبرات المادية تتميز بتوفير التغذية الراجعة الحسية اللمسية الضرورية لتعلم المفاهيم الفيزيائية، بينما تتفوق المختبرات الافتراضيّة في تمثيل المفاهيم المجردة وتوفير بيئة آمنة ومنخفضة التكلفة. وبناءً على ذلك، خلصت الدراسة إلى أن الدمج بين النوعيّن هو الخيار الأكثر فائدة، وأوصت بضرورة تطوير إطار عمل شامل للدمج الأمثل بينهما لتحقيق أقصى استفادة تعليمية.

انتقالًا من التحليل الكميّ الواسع إلى التصميم الاستراتيجيّ، قدّم **تيركاج وآخرون(Terkaj et al., 2024)** دراسة نوعيّة هدفت إلى اقتراح إطار عمل **(Framework)** مُتكامل لتصميم وتوظيف المختبرات الافتراضيّة في الهندسة الصناعيّة، مع التركيز على دمج تقنيات الثورة الصناعيّة الرابعة مثل التوأم الرقمي **(Digital Twin)** والواقع المُمتد **(XR)**. بالاعتماد على منهج دراسة الحالة، جمع الباحثون بياناتهم من خلال ورش عمل ومقابلات مع عينة قصديّة من مختلف أصحاب المصلحة (شملت طلابًا ومعلمين ومديري مختبرات) في ثلاث مؤسسات أوروبيّة رائدة (في إيطاليا وإسبانيا). وكان أبرز نتائج الدراسة تقديم إطار عمل متكامل يوازن بين أهداف تفاعل المُستخدم، ومُخرجات التعلُّم المنشودة، والموارد التقنيّة المُتاحة. كما عرضت الدراسة أربعة نماذج رقميّة لمختبرات تصنيع حقيقيّة تم تحويلها إلى مختبرات افتراضيّة. وتكمن أهمية هذه الدراسة في أنها تنقل النقاش الأكاديمي من سؤال "هل نستخدم المختبرات الافتراضيّة؟" إلى سؤال "كيف نُصممها بفعاليّة وبشكل منهجي؟" مما يوفر خارطة طريق عمليّة للمؤسسات التي تسعى لتبني هذه التقنيات.

هدفت دراسة **العميري وآخرون**(2024) إلى تقصي الاحتياجات التدريبية لاستخدام المختبرات الافتراضيّة في تدريس الكيمياء من وجهة نظر معلمي المرحلة الثانوية بمدينة تبوك، وذلك انطلاقًا من مشكلة خطورة بعض المواد والتجارب الكيميائية، أو عدم توفر المواد والأدوات اللازمة لإجراء التجارب

المطلوبة، مما يحفز التفكير بخطط تدريبية ملائمة، تلزم لسد الاحتياجات التدريبية لمعلمي الكيمياء في المرحلة الثانوية لاستخدام التقنيات الحديثة كالمختبرات الافتراضيّة. اتبعت الدراسة المنهج الوصفي الكمي، وقد استخدمت الدراسة استبانة تقيس الاحتياجات التدريبية لمعلمي الكيمياء تم تطبيقها على عينة عشوائية بلغ عددها (86) معلمًا من معلمي الكيمياء في المدارس الثانوية بمدينة تبوك. وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها أن معلمي الكيمياء بحاجة كبيرة في المرحلة الثانوية إلى التدريب على استخدام التقنيات الحديثة، بالأخص المختبرات الافتراضيّة، وبينت حاجتهم الرئيسية لوجود برامج تدريبية تقنية، يليها التربوية، ثم التخصصية، وتم التوصية بتصميم برامج تدريبية للتدريب في توظيف تقنية المختبرات الافتراضيّة في تدريس التجارب الكيميائية، مع تصميم برامج تدعم تقنية المختبر الافتراضيّ في تدريس الكيمياء في المرحلة الثانوية.

وسعت دراسة **العتيبي وعكيري**(2024) إلى الكشف عن درجة توظيف معلمات العلوم بالمرحلة الثانوية لمختبرات العلوم الافتراضيّة واتجاهاتهن نحوها بمدينة الطائف، بالإضافة إلى الكشف عن الصعوبات التي تواجههن أثناء توظيف المختبرات الافتراضيّة في تدريس العلوم من وجهة نظرهن، وقد استخدمت الدراسة المنهج الوصفي المسحي، وطُبقت الاستبانة على عينة مكونة من (140) معلمة من معلمات العلوم بالمرحلة الثانوية بمدينة الطائف انْتُقِينَ بالطريقة العشوائية. وتوصلت الدراسة إلى عدة نتائج من أبرزها: أن درجة توظيف معلمات العلوم بالمرحلة الثانوية لمختبرات العلوم الافتراضيّة جاءت بدرجة (مرتفعة جدا)، وتوصلت الدراسة إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية في درجة توظيف معلمات العلوم لمختبرات العلوم الافتراضيّة تعزى لمتغيرات (التخصص، سنوات الخبرة، المؤهل العلمي، عدد الدورات التدريبية في مجال التقنية)، كما توصلت الدراسة إلى أن الصعوبات التي تواجه معلمات العلوم بالمرحلة الثانوية أثناء توظيفهن لمختبرات العلوم الافتراضيّة جاءت بدرجة (مرتفعة)، كما توصلت الدراسة إلى أن اتجاهات معلمات العلوم بالمرحلة الثانوية نحو استخدام مختبرات العلوم

الافتراضيّة جاءت بدرجة (مرتفعة جدا)، كما توصلت النتائج إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية في اتجاهات معلمات العلوم نحو استخدام المختبرات الافتراضيّة تعزى لمتغيرات (التخصص، سنوات الخبرة، المؤهل العلمي، عدد الدورات التدريبية في مجال التقنية). وقد أوصت الدراسة بضرورة العمل على توفير برمجيات للمختبرات الافتراضيّة باللغة العربيّة لتفعيلها بشكل أكبر في تعليم العلوم بالمرحلة الثانوية.

في دراسة كميّة تجميعيّة بالغة الأهميّة، قدَّم **لي وليانغ(Li & Liang, 2024)** توليفًا إحصائيًا شاملًا لتقويم فعالية المختبرات الافتراضيّة في التعليم الهندسيّ من خلال منهج التحليل البعدي. اعتمدت الدراسة على فحص منهجيّ **(Meta Analysis)** لـ 46 دراسة تجريبيّة منشورة في قواعد بيانات **Scopus** و **Web of Science**، مستخدمةُ برنامج **(Comprehensive Meta Analysis)** لاستخلاص حجم التأثير الإحصائيّ **(Effect Size)** وفق معادلة هيدجز **(Hedges' g)** وقد كشفت النتائج عن وجود تأثير إيجابيّ ودال إحصائيًا للمختبرات الافتراضيّة على مُجمل مُخرجات التعليم الهندسيّ. **(g=0.686)** والأكثر دلالة، أن هذا التأثير بلغ ذروته في الجوانب الوجدانيّة للتعلُّم؛ حيث سجّل أعلى حجم تأثير في تعزيز "الدافعيّة للتعلُّم" **(g=3.571)** و"المُشاركة في التَعلُّم" **(g=2.888)** وخلُصت الدراسة إلى استنتاج محوريّ مفاده أن المختبرات الافتراضيّة، رغم كونها أداة مُساعدة قويّة لا غِنى عنها، لا تمتلك حاليًا القدرة على الإحلال الكامل محل المختبرات الماديّة. وبناءً عليه، أوصت الدراسة بضرورة تبني "الدمج الواعي" بين التجارب الماديّة والافتراضيّة كتوجه استراتيجيّ لتطوير التعليم الهندسيّ بشكل مستدام. وتكمُن القيمة الجوهريّة لهذه الدراسة في أنها تُقدِم دليلًا إحصائيًا قويًا ومُجمّعًا، يتجاوز انطباعات الدراسات الفرديّة لِيُرسخ فعاليّة هذه التقنيات كحقيقة علميّة.

وفي سياق مشابه، سعت دراسة **وانغ وليو**(Wang & Liu, 2024) إلى تطوير منصة محاكاة افتراضيّة متكاملة لتعليم نظم التحكم الكهربائي (وحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة) في إحدى الجامعات التقنية في الصين. اتبعت الدراسة المنهج التجريبي والتطويري، ولم تركز على عينة بشرية محددة لتقويم الأثر، بل على بناء المنصة واختبار وظائفها. تمثلت أدوات الدراسة في بيئة ثلاثية الأبعاد تفاعلية صُممت نماذج مكوناتها ببرنامج (SolidWorks) وبُنيت في (Unity3D)، مع ربطها ببرمجيات محاكاة لأنظمة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من نوع (Mitsubishi). وقد شملت سيناريوهات تدريبية واقعية مثل التحكم في خطوط الإنتاج وتصميم الدوائر الكهربائية. أظهرت النتائج أن استخدام المحاكاة الافتراضيّة مع المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة ساهم في تحسين مهارات الطلاب وزاد من استيعابهم، كما وفرت حلًا فعالًا من حيث التكلفة. وأوصت الدراسة بتوسيع نطاق التطبيق ليشمل المزيد من مكونات الإنتاج الصناعي، ودمج تقنيات الواقع المعزز (AR) لتحسين التجربة التعليمية، وتطوير منهجيات تقويم شاملة لقياس أداء الطلاب في البيئات الافتراضيّة.

هدفت دراسة **أبو عوه والعجميّ**(2023) إلى الكشف عن واقع توظيف معلمات العلوم للمعامل الافتراضيّة في تدريس المرحلة المتوسطة بالمملكة العربيّة السعوديّة، وذلك في ضوء متطلبات التحول الرقمي ورؤية المملكة 2030. ولتحقيق أهداف الدراسة، استخدمت الباحثتان المنهج الوصفي التحليلي؛ إذ بُنيت وطُبقت استبانة على عينة متيسرة (متوفرة) مكوّنة من (70) معلمة من معلمات العلوم اللواتي يستخدمن المختبرات الافتراضيّة. وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أبرزها أن واقع استخدام معلمات العلوم للمعامل الافتراضيّة جاء بدرجة "متوسطة". كما حددت الدراسة متطلبات توظيف هذه المختبرات. وبناءً على النتائج، قدمت الدراسة تصورًا مقترحًا يهدف إلى تفعيل دور المعلمات في استخدام المختبرات الافتراضيّة، وخرجت بمجموعة من التوصيات والمقترحات لتطوير هذا الجانب.

وسعت دراسة **الحربي**(2023) إلى الكشف عن واقع استخدام المختبرات الافتراضيّة ومتطلبات تفعيلها والمعوقات التي تواجهها من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس في جامعة القصيم بالمملكة العربيّة السعودية، ولتحقيق أهداف الدراسة استخدم الباحث المنهج الوصفي التحليلي، وطُبقت استبانة عشوائية على 75 عضو هيئة تدريس في التخصصات العلميّة. توصلت الدراسة إلى أن أعضاء هيئة التدريس كانوا محايدين تجاه قدرة المختبرات الافتراضيّة على توفير بيئة تعلم مناسبة، مما يشير إلى وجود تصور غير مكتمل لأهميتها. كما ظهرت النتائج ضرورة توفير بنية تحتيّة تقنيّة داعمة، وتقديم برامج توعية وتدريب للطلاب وأعضاء هيئة التدريس لتعزيز قناعاتهم بأهميتها. وفي ضوء هذه النتائج، قدمت الدراسة تصورًا مقترحًا لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تدريس العلوم بجامعة القصيم.

وهدفت دراسة **الحوسني**(2023) إلى التعرف على أثر استخدام تطبيقات المختبرات الافتراضيّة في تنمية الأداء العملي والتحصيل لدى طلاب الصف الثامن في مادة العلوم بمدرسة الشيخ سعيد بن حمد الحارثي في ولاية السيب محافظة مسقط. اتبعت الدراسة المنهج شبه التجريبي القائم على تصميم المجموعة التجريبية والضابطة. طبقت أداة الدراسة وهي الاختبار التحصيلي على عينة قصدية مكونة 60 طالبا من طلاب الصف الثامن الأساسي، قُسِّمت العينة إلى مجموعتين، مجموعة تجريبية وعددهم 30 طالبا قاموا بإجراء التجارب العلمية في تطبيقات المختبرات الافتراضيّة، والمجموعة الضابطة وعددهم 30 عملوا على التجارب في المختبر المدرسي. اعتمدت الدراسة على أداة واحدة وهي اختبار تحصيلي حول التجارب في الوحدات الثانية والثالثة والرابعة من كتاب العلوم للصف الثامن، ووصلت نتائج الدراسة إلى وجود فرق دال إحصائيا عند مستوى دلالة (0.05) بين متوسط درجات المجموعة التجريبية التي أجرت التجارب في المختبرات الافتراضيّة والمجموعة الضابطة التي عملت على التجارب في المختبر بشكل اعتيادي لصالح المجموعة التجريبية، وذلك في نتائج التطبيق البعدي للاختبار التحصيلي في محتوى التجارب المحددة للدراسة، وأوصت الدراسة بتضمين مواد العلوم بتجارب وأنشطة

تدعم بيئات التعلم الافتراضيّة، بالإضافة إلى الدمج بين التجارب في المختبر التي تقام بشكل واقعي والتجارب ذات الأساليب التكنولوجية ضمن المختبرات الافتراضيّة.

كما هدفت دراسة **خوليخمتوف وآخرين**(Kholikhmatov et al., 2023) إلى تصميم وتطوير نموذج محاكاة يعتمد على وحدة التحكم المنطقي القابلة للبرمجة (PLC) لتدريب الطلاب على أساسيات أنظمة الإمداد بالطاقة الكهربائية. ركزت الدراسة على تقديم بيئة تعليمية مرنة وآمنة تعزز فهم الطلاب للدوائر المنطقية وآليات عمل أنظمة التحكم الصناعي. اتبعت الدراسة المنهج شبه التجريبي؛ إذ طُبِّقَ نموذج المحاكاة التعليمي الذي تم تطويره، على عينة قصديّة مكونة من (80) طالبًا من طلاب برامج الهندسة الكهربائية والميكانيكية، تم تقسيمهم إلى مجموعة تجريبية وضابطة. تم تقويم الأداء من خلال مقارنة الطلاب الذين استخدموا المحاكاة بأولئك الذين لم يستخدموها، وأخيرًا تحليل النتائج لتحديد مجالات التحسين. أظهرت النتائج أن نموذج المحاكاة التعليمي ساهم في تحسين فهم الطلاب للأنظمة التي تعتمد على المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، وزاد من قدرتهم على تنفيذ التجارب بمرونة وأمان. كما أكدت الدراسة أن الطلاب الذين استخدموا نموذج المحاكاة أظهروا أداءً أفضل في مهارات التشخيص والتشغيل مقارنة بأقرانهم. أوصت الدراسة بتوسيع استخدام المحاكاة التعليمية المبنية على المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في مجالات أخرى من الأتمتة الصناعية، مع تعزيز التكامل بين المحاكاة الافتراضيّة والتدريب العملي في المختبرات. كما دعت إلى تطوير أدوات تقويم جديدة لقياس فعالية المحاكاة في تعزيز مهارات الطلاب.

كما سعت دراسة **الشهري وآخرين**(2023) إلى التعرف على أبرز التحديات التي تواجه استخدام المختبرات الافتراضيّة في تدريس العلوم من وجهة نظر معلمي المرحلة المتوسطة في إدارة تعليم الطائف. اتبعت الدراسة المنهج الوصفي. استُخدمت عينة عشوائية من المعلمين تضم (53) معلما من معلمي العلوم في المرحلة المتوسطة تتراوح خبراتهم بين 10 – 15 سنة. استخدمت الدراسة استبانة

مقسمة إلى ثلاثة محاور رئيسة:1. معوقات استخدام المختبر الافتراضيّ في مجال المعلم، 2. معوقات استخدام المختبر الافتراضيّ الخاصة بمحتوى مادة العلوم، 3. معوقات استخدام المختبر الافتراضيّ المتعلقة بتقنيات الحاسوب والتجهيزات المدرسية. وبيّنت نتائج الدراسة أن الجانب التقني والتجهيزات المدرسية يُعد الأكثر تأثيرًا بين المعوقات، يليه الجانب المرتبط بالمادة الدراسية، ثم المعلم. بناءً على ذلك، أوصت الدراسة بضرورة تطوير مناهج العلوم بما يتماشى مع تقنيات التعليم الحديثة والبرمجيات الحاسوبية، وإقامة برامج تدريبية لتعزيز مهارات المعلمين في استخدام التقنية، مع إدراج استخدام المختبرات الافتراضيّة ضمن برامج إعداد المعلمين. كما أكدت الدراسة على إدراج مهارة استخدام المختبرات الافتراضيّة في برامج إعداد المعلمين وتدريبهم. واقترحت الدراسة إجراء المزيد من البحوث بهدف الوقوف على تحديات مماثلة وتعزيز استخدام هذه التقنيات على نطاق أوسع لتحقيق الفائدة المرجوة منها.

هدفت دراسة **الشهراني وحسن**(2022) إلى قياس أثر برنامج مقترح قائم على تطبيقات المختبرات الافتراضيّة في تنمية المهارات المختبرية بجانبيها المعرفي والأدائي في مادة الكيمياء. ولتحقيق هذا الهدف، اتبعت الدراسة المنهج شبه التجريبي في محافظة بيشة بالمملكة العربيّة السعودية. تكونت عينة الدراسة من (75) طالبةً من طالبات الصف الثاني الثانوي في المسار العلمي، قُسِّمن إلى مجموعة تجريبية درست باستخدام المعمل الافتراضيّ، ومجموعة ضابطة درست بالطريقة التقليدية. استخدمت الدراسة أداتين رئيسيتين لجمع البيانات، هما: بطاقة ملاحظة الأداء لقياس الجانب الأدائي، واختبار تحصيلي لقياس الجانب المعرفي للمهارات المختبرية. أظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى دلالة (0.05) بين متوسطي درجات المجموعتين لصالح المجموعة التجريبية في كلا الجانبين المعرفي والأدائي. وفي ضوء هذه النتائج، أوصت الدراسة بتوسيع نطاق استخدام المختبرات

الافتراضيّة في المدارس الثانوية، وتهيئة البنية التحتية اللازمة لذلك، مع ضرورة دمج المختبرات الافتراضيّة بأنواعها المختلفة مع المختبرات التقليدية للوصول إلى بيئة تعلم متكاملة.

وسعت دراسة **كورديرو–جوريدي** وآخرين(Cordero-Guridi et al. ,2022) إلى تصميم وتطوير مختبر تعليمي يدعم تقنيات الواقع الافتراضيّ والمعزز (VR/AR) لتدريس مفاهيم الهندسة المتعلقة بالصناعة 4.0. ركزت الدراسة على استخدام معايير ISO/IEC TR 23842-1 لتطوير مختبر يمكنه دمج تقنيات المحاكاة الرقمية وتصميم النماذج الافتراضيّة لدعم التعليم والتدريب في مجالات التصميم الهندسي الميكانيكي والتصنيع. اتبعت الدراسة شبه المنهج التجريبي. تم تنفيذ هذه الدراسة في جامعة "جامعة بويبلا الشعبية المستقلة" بالمكسيك، مع التركيز على إعداد بيئة مختبرية تدعم التدريس العمليّ. واعتمدت المنهجية على تقويم تجارب الطلاب باستخدام الواقع الافتراضيّ والمعزز من خلال مشروع تصميمي يتناول السيارات، مع التركيز على المهام التي تتطلب التصميم ثلاثي الأبعاد، النمذجة الافتراضيّة، واستخدام المكونات الصناعية الرقمية تم تطبيقه على عينة متوفرة مكونة من (38) طالبًا من تخصصات الميكاترونكس، التصميم الصناعيّ، الهندسة الحيويّة، وهندسة الطيران. أظهرت النتائج أن استخدام تقنيات VR/AR قد ساهم بشكل كبير في تحسين تجربة الطلاب التعليمية وزاد من فهمهم للمفاهيم العملية والصناعية، بالإضافة إلى تعزيز تفاعلهم مع البيئة الافتراضيّة. كما أظهرت الدراسة أن هذه التقنية تقلل من الحواجز الجغرافية وتوفر بيئة آمنة للتدريب العملي. أوصت الدراسة بزيادة استخدام هذه التقنيات في التعليم الهندسي، مع التركيز على تطوير محتويات تعليمية جديدة تتماشى مع متطلبات الصناعة 4.0. كما تدعو إلى تحسين التكامل بين الجامعات والشركات الصناعية لتوسيع نطاق التطبيقات الواقعية للطلاب.

وسعت دراسة ديازغيرون وآخرين(Diazgiron-Aguilar et al. ,2022) إلى تطوير مختبر افتراضيّ للتدريب على برمجة أنظمة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) باستخدام تقنيات الواقع الافتراضيّ (VR) لتعزيز التعليم الصناعي والتقني. ركزت الدراسة على توفير بيئة ثلاثية الأبعاد تحاكي مختبر الأتمتة والتحكم، تتضمن واجهات تفاعلية للإدخال والإخراج الرقمي والتناظري. بالإضافة إلى ذلك، صُممت واجهة تخطيطية منطقية (Ladder Diagram) للمستخدم لتطبيق المهام المبرمجة على عناصر المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة. استخدمت الدراسة المنهج شبه التجريبي، وتم تقويم قابليّة الاستخدام من خلال اختبارات (System Usability Scale - SUS) على عينة متوفرة (تطوعيّة) مكونة من (65) مُشاركًا من طلاب الهندسة الميكاترونيكيّة؛ نظراً لتقسيمهم إلى مجموعتين تجريبية وضابطة؛ لتقويم قابلية الاستخدام والوظائف. وقد بيّنت النتائج أنَّ المنصة سجلت متوسط تقويم بلغ 75.8 نقطة، مما يشير إلى أن البيئة الافتراضيّة سهلة الاستخدام وفعالة في تحقيق الأهداف التعليمية. أوصت الدراسة بتوسيع نطاق التطبيق ليشمل التدريب عن بُعد مع تحسين ربط الأنظمة الافتراضيّة مع الأنظمة الفيزيائية في الزمن الحقيقي. كما دعت إلى زيادة عدد التمارين العملية المعقدة لتشمل مجالات هندسية أخرى، وتطوير أنظمة أمان للمستخدمين لضمان تجربة تعلم آمنة وفعالة.

وهدفت دراسة تركي والسبو(Turkey & Al-Sbou,2022) الدراسة إلى استكشاف مواقف معلمي العلوم للطلاب الموهوبين تجاه استخدام المختبرات الافتراضيّة، والتحديات التي تواجههم من وجهة نظرهم. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي. اشتملت عينة الدراسة على (56) معلمًا ومعلمة من المدارس الحكومية في لواء المزار الجنوبي بمحافظة الكرك، اختيروا عشوائيًا من بين مجتمع الدراسة الذي بلغ (185) معلمًا ومعلمة. اعتمدت الدراسة استبانةً مكوّنةً من (29) فقرة لقياس مواقف المعلمين تجاه المختبر الافتراضيّ، والتحديات التي تواجههم. أظهرت النتائج أن مواقف المعلمين تجاه المختبر الافتراضيّ سجلت مستوى إيجابيًا بدرجة متوسطة (بمتوسط حسابي 3.47)، بينما سجلت

التحديات التي تواجههم في استخدام المختبر الافتراضيّ مستوى عاليًا (بمتوسط حسابي 3.94). وأظهرت النتائج أيضًا عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية في مواقف المعلمين تجاه المختبر الافتراضيّ تبعًا لمتغيرات الجنس، المؤهل الأكاديمي، والخبرة الوظيفية. أوصت الدراسة بعقد دورات وورش عمل للمعلمين والطلاب لتطوير مواقفهم تجاه المختبر الافتراضيّ، وتدريبهم على كيفية استخدامه، بالإضافة إلى توفير مختبرات افتراضيّة شاملة لجميع المدارس. كما أوصت بضرورة تعديل المناهج العلمية لتتماشى مع تطبيقاتها في المختبر الافتراضيّ، ومعالجة العقبات مثل نقص المعدات وضعف الإنترنت والتكلفة العالية للبرمجيات.

استهدفت دراسة **سيد وآخرون**(Syeed et al., 2022) إلى تقديم إطار عمل شامل ومُفصل لتطبيق "التعليم القائم على المُخرجات (Outcome-Based Education - OBE)" في برنامج التعليم الهندسيّ، بما يتوافق مع معايير الاعتماد الدوليّة مثل "اتفاقيّة واشنطن". اتبعت الدراسة منهج البحث البنائيّ (Constructive Research)؛ حيث قامت بتصميم إطار عمل متكامل وتطبيقه كدراسة حالة في قسم علوم وهندسة الحاسوب (Department of CSE) في الجامعة المستقلة في بنغلاديش (Independent University Bangladesh - IUB). وكانت النتيجة الرئيسيّة للدراسة هي بلورة إطار عمل واضح يُحدد العلاقة بين مُخرجات التعلُّم على مستوى المُقرر (Course Learning Outcomes - CLOs)، ومُخرجات التعلُّم القائم على البرنامج (Program Learning Outcomes - PLOs)، ويُقدِم آليات للتقويم المستمر وتحسين الجودة (Continuous Quality Improvement - CQI). وبناءً على هذا الإطار، أوصت الدراسة بمجموعة من التوجهات البحثيّة المُستقبليّة، أهمها ضرورة أتمتة عمليات الـ (OBE) من خلال أنظمة برمجيّة متخصصة، وتطوير آليات لتوليد ملفات إنجاز إلكترونيّة للطلاب، واستخدام أنظمة الذكاء الاصطناعيّ لدعم اتخاذ القرار وتحسين جودة التعليم بشكل مستمر. وتكمُن أهمية هذه الدراسة في أنها لا تتناول أداة تعليميّة مُحددة، بل تقدم الإطار التربوي الشامل الذي يجب أن تعمل ضمنه

جميع الأدوات والممارسات التعليميّة الحديثة، ومنها المختبرات الافتراضيّة، لضمان تحقيق مُخرجات تعليميّة قابلة للقياس ومُعترف فيها دوليًا.

سعت دراسة **أحمد وآخرون**(2022) إلى وضع تصوّر لإنشاء مختبرات افتراضيّة في جامعة العريش بجمهورية مصر العربيّة، وذلك عبر استعراض مفهومها وأهميتها ومميزاتها ومعوقاتها، مع الأخذ في الاعتبار الخبرات العالمية في هذا المجال. لتحقيق أهداف الدراسة اعْتُمِدَ المنهج الوصفي التحليلي. وأظهرت نتائج الدراسة أهميّة استخدام المختبرات الافتراضيّة في تدريس العلوم، وفاعليتها في تنمية التعلم الذاتيّ والاتجاهات الإيجابيّة نحو التجارب العمليّة. وأوصت الدراسة بضرورة تطبيق أسلوب التوأمة لنقل الخبرات من الجامعات المتقدمة، وتنظيم ورش عمل ودورات تدريبية مستمرة لهيئة التدريس لتمكينهم من استخدام هذه التقنيات بفاعلية، خاصة في ظل الظروف التي تتطلب تعليمًا عن بعد.

هدفت دراسة **الهادي والجبري**(2022) إلى بناء تصوّر مقترح يحدد متطلبات استخدام المختبرات الافتراضيّة في تدريس تجارب الأحياء المعملية بالجامعات اليمنيّة من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس. استخدم الباحثان المنهج الوصفي بأسلوبيه المسحي والتحليلي المستقبلي وذلك لتحقيق أهداف الدراسة؛ إذ تم بناء قائمة متطلبات (استبانة) موزعة على خمسة محاور (البيئة التعليميّة، عضو هيئة التدريس، الطلبة، المقررات العمليّة، البرمجيات الافتراضيّة) ثم قاسا مدى توفرها الفعليّ، وتم تطبيقها على عينة قصديّة من (30) خبيرًا من أعضاء هيئة التدريس. كشفت نتائج الدراسة عن ضعف كبير في مدى توفر المتطلبات اللازمة؛ حيث كانت متطلبات البيئة التعليميّة والبرمجيات الافتراضيّة متوفرة بدرجة "قليلة جدًا"، بينما توفرت متطلبات المقررات العملية بدرجة "قليلة". في المقابل، توفرت متطلبات عضو هيئة التدريس والطلبة بدرجة "متوسطة". وبناءً على هذه الفجوة بين المطلوب والواقع، قدّم الباحثان تصورًا مقترحًا وآلية للتطوير المستقبليّ.

وهدفت دراسة **القديري**(2022) إلى التعرف على اتجاهات معلمي مواد العلوم نحو استخدام المعمل الافتراضيّ في تدريس الجانب العملي، وكذلك الوقوف على أهم المقترحات المناسبة الممكن تقديمها في مجال توظيف المعمل الافتراضيّ في العملية التعليمية، ولتحقيق أهداف الدراسة استخدمت الباحثة المنهج الوصفي المسحي، وطُبقت استبانة على عينة عشوائية مكونة من (88) معلمًا ومعلمة من معلمي العلوم بالمرحلة الثانوية. توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج أهمها: تفعيل استخدام المختبر الافتراضيّ في مدارسنا لتجاوز المشكلات والعوائق التي تواجه المدرسين والطلبة في تفعيل الجانب العملي من دراسة الكيمياء. والاستفادة من خبرات الدول التي طبقت هذه التقنية بشكل ناجح، وذلك باستقطاب بعض البرامج وترجمتها، ومن ثم تطبيقها في المدارس. واستفادة المسؤولين على مشاريع دمج التكنولوجيا بالتعليم من هذه الفكرة والدراسات المتعلقة بها، لفهم أهمية المختبر الافتراضيّ ودوره المهم في التغلب على المشكلات التي تواجه استخدام المختبر التقليدي، وأوصت الدراسة بضرورة تطبيق تقنية المختبرات الافتراضيّة في تدريس العلوم في المرحلة الإعدادية والثانوية لما لها من أثر في زيادة التحصيل، واكتساب مهارات معملية. وضرورة تدريب القائمين على تصميم برامج الحاسوب على تصميم برمجيات مختلفة لباقي المواد الدراسية التي من الممكن أن تستفيد من هذه التقنية. وتفعيل استخدام المختبر الافتراضيّ في مدارسنا لتجاوز المشكلات والعوائق التي تواجه المدرّسين والطلبة في تفعيل الجانب العملي من دراسة الكيمياء.

وأجرت **زهراني**(2022) دراسة بهدف التعرف على درجة توظيف المختبرات الافتراضيّة في تدريس المفاهيم العلمية لطالبات المرحلة المتوسطة من وجهة نظر المعلمات والمشرفات بمدينة مكة المكرمة. ولتحقيق أهداف الدراسة استخدمت الباحثة المنهج الوصفي المسحي، وطُبقت استبانة الدراسة على عينة عشوائية مكونة من (132) معلمة ومشرفة. توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج أهمها: إن توظيف المختبرات الافتراضيّة في تدريس المفاهيم العلمية لطالبات المرحلة المتوسطة جاء بدرجة كبيرة

وذلك من وجهة نظر المعلمات والمشرفات بمدينة مكة المكرمة، وقد أشارت النتائج إلى وجود معوقات كبيرة تواجه توظيف المختبرات الافتراضيّة ومنها (ندرة المختبرات الافتراضيّة التي تعتمد اللغة العربيّة في عرضها للبيانات، قلة توافر المتطلبات المادية والبرمجية اللازمة، وقلة حصول المعلمات على التدريب الكافي)، كما بينت النتائج عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة الإحصائيّة ($\alpha \leq 0.05$) حول درجة توظيف المختبرات الافتراضيّة لتدريس المفاهيم العلمية تعزى لمتغير (طبيعة العمل، المؤهل الأكاديمي، التخصص، الخبرة). وفي ظل النتائج التي تم التوصل إليها أوصت الدراسة بضرورة الاهتمام بتحفيز المعلمات على تطوير مهاراتهن التقنية لتوظيف المختبرات الافتراضيّة داخل الحصص الصفية، وتوفير المتطلبات المادية والبرمجية اللازمة التي تساعد على استخدام المختبرات الافتراضيّة داخل الحصص الدراسية.

سعت دراسة الرفيعي(2021) إلى الكشف عن فاعلية المختبر الافتراضيّ في ظل التعليم عن بعد في تنمية مهارات الأداء المعملي لدى طالبات المرحلة الثانوية في الكيمياء. طُبقت الدراسة في المدرسة الثانوية الثانية عشر بالمدينة المنورة في المملكة العربيّة السعودية؛ إذ اتبعت المنهج شبه التجريبي. تكونت عينة الدراسة من (60) طالبةً من طالبات الصف الأول الثانوي، اخْتَرْنَ بطريقة عشوائية وتقسيمهن بالتساوي إلى مجموعتين: مجموعة تجريبية تكونت من (30) طالبةً استخدمن تقنية المختبر الافتراضي عن بعد، ومجموعة ضابطة تكونت من (30) طالبةً درسن بالطريقة الاعتيادية عن بعد. استخدمت الدراسة اختبارًا للمهارات المعملية ومقياس للأداء المهاري في المختبر الافتراضيّ، تم تطبيقهما بشكل قبلي وبعدي. أظهرت النتائج فاعلية استخدام تقنية المختبر الافتراضي في تنمية مهارات الأداء المعملي لصالح المجموعة التجريبية. وبناءً على ذلك، أوصت الدراسة بضرورة الاهتمام بتقنية المختبر الافتراضي وتوظيفها في العصر الحالي للتعليم عن بعد، لما لها من دور في إكساب الطالبات المهارات اللازمة التي تعزز قدرتهن على الاعتماد على النفس في التعلم.

وهدفت دراسة بلفقيه(2020) إلى معرفة معوقات استخدام المختبر الافتراضيّ المتعلقة بالمعلم والمواد الدراسيّة وتقنيات الحاسوب والتجهيزات المدرسية، من وجهة نظر معلمي العلوم الطبيعية بثانويات مدينة المكلا، ومعرفة دلالة الفروق الإحصائية في درجات تقدير مستوى التعامل مع المختبر الافتراضيّ. استخدم الباحث المنهج الوصفي المسحي القائم على أداة الاستبانة، تم توزيعها على عينة عشوائية مكونة من (62) معلما ومعلمة. وتوصلت الدراسة إلى وجود المعوقات بدرجة كبيرة، وترتيبها التنازلي كالتالي: المواد الدراسية، المعلم، تقنيات الحاسوب والتجهيزات المدرسية. وتبين عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية تعزى للتخصص أو لمستوى التعامل مع المختبر الافتراضيّ، وتوجد فروق ذات دلالة إحصائية في التعامل مع المختبر الافتراضيّ لصالح الذين لم يتعاملوا معه مقابل الذين يتعاملون معه بشكل متوسط أو مقبول. وأوصت الدراسة بتطوير مناهج العلوم الطبيعية لتواكب التطور في التعليم الإلكتروني، وإدراج استخدام المختبرات الافتراضيّة في برامج إعداد معلمي العلوم وتدريبهم.

وسعت دراسة بجيلي(2019) إلى التعرف على واقع الاستفادة من المختبرات الافتراضيّة في تدريس العلوم بالمرحلة الثانوية في محافظة جدة، والتعرف على متطلبات ومعوقات استخدامها، وسبل تطويرها. استخدمت الباحثة المنهج الوصفي التحليلي، كما استخدمت الاستبانة كأداة للدراسة وقد طبقت الدراسة على عينة عشوائيّة بسيطة مكونة من (275) معلمة من معلمات العلوم في المرحلة الثانوية ومعلمات الفيزياء والكيمياء ومحضرات المختبر، وقد توصلت الدراسة إلى النتائج التالية: أن المختبرات الافتراضيّة تخدم الميدان التعليمي بكفاءة عالية، وبكل يسر وسهولة، وأن تقنية المختبرات الافتراضيّة تعتبر بديلا جيدًا في حال عدم توفر المواد الكيماوية والأجهزة والمستلزمات التعليمية، وبناءً على النتائج اقترحت الدراسة عددًا من التوصيات، من أهمها: أن تستمر وزارة التعليم بالتوسع في دمج تدريس العلوم بين المختبرات الافتراضيّة والمختبرات التقليدية.

وأجرت **الدليمي(2018)** دراسة هدفت إلى تقصي أثر استخدام المختبرات الافتراضيّة في تنميّة المهارات المعمليّة والتحصيل الدراسي في علم الأحياء لدى طلاب كليات التربية بالعراق. اعتمدت الدراسة المنهج شبه التجريبي، وطُبقت على عينة قصديّة مكونة من 60 طالبًا وطالبةً من قسم علوم الحياة بجامعة القادسية. استخدمت الدراسة الاختبارات المعرفية وبطاقات الملاحظة لقياس المهارات. وسعت إلى تحقيق عدة أهداف، من بينها تصميم نموذج لمختبر افتراضيّ وقياس أثره على تنمية المهارات المعملية التطبيقية (كمهارة التشريح). أظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطات درجات المجموعتين التجريبية والضابطة لصالح المجموعة التجريبية التي استخدمت المختبر الافتراضيّ، مما يؤكد فاعليته كأداة لتعزيز المهارات العملية والتحصيل المعرفي.

وأجرى **كبير وعبد المنعم(2017)** دراسة بغرض التعرف على التعلم الافتراضيّ وتقنية المختبرات الافتراضيّة وأهمية استخدامها في التعليم والتعلم وكذلك التعرف على اتجاهات معلمي ومعلمات العلوم نحو استخدام تقنية المختبرات الافتراضيّة وعلاقتها ببعض المتغيرات، اتبع الباحثان المنهج الوصفي التحليلي في الدراسة. تكونت أداة الدراسة من استبانة تم تطبيقها على عينة قصدية (عمدية) تكونت من (48) معلمًا ومعلمة ممن تدربوا على استخدام المختبرات الافتراضيّة في المدارس الثانوية بولاية القضارف. ومن أهم النتائج التي توصلت إليها الدراسة: وجود اتجاهات إيجابية بدرجة كبيرة نحو استخدام تقنية المختبرات الافتراضيّة، وعدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين اتجاهات الذكور والإناث، وعدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية تعزى للتخصص أو سنوات الخبرة، وفي ضوء ذلك أوصى الباحثان بضرورة إنشاء وزارة التربية معامل افتراضيّة لتدريب المعلمين على أحدث مستجدات تقنيات التعليم في المجال التربوي واستخدام تقنية الواقع الافتراضيّ في تدريبهم على مهارات أخرى وتعليم مقررات أخرى كذلك. واقترح الباحثان باستخدام تقنية الواقع الافتراضيّ في تدريب المعلمين على كيفية التعامل مع بيئات التعلُّم الافتراضيّة أو المختبرات الافتراضيّة.

2.1.2.2 التعقيب على الدراسات المتعلقة بتوظيف المختبرات الافتراضيّة

من خلال عرض البحوث والدراسات السابقة يمكن استخلاص ما يلي:

أوجه الاتفاق:

من حيث الهدف: اتفق البحث الحالي مع جميع الدراسات السابقة في هدفها العام المتمثل في استكشاف أبعاد توظيف المختبرات الافتراضيّة كأداة تعليميّة مؤثرة. فعلى الرغم من تنوع مداخلها البحثيّة، إلا أنها تشاركت جميعًا في السعي لفهم وتحسين هذه الممارسة التعليميّة. وبشكل أكثر تحديدًا، فاتفقت الدراسة الحالية مع دراسات(العتيبي وعكيري، 2024؛ أبو عوه والعجميّ، 2023؛ الحربي، 2023، وزهراني، 2022) في تشخيص "واقع ومتطلبات التوظيف"، ومع دراسات(بلفقيه، 2020؛ والشهري وآخرون، 2023) في تحديد "تحديات ومعوقات" استخدامها التي تواجه تطبيقه. كما اتفقت هذه الدراسة مع دراسات(الحوسني، 2023؛ الشهراني وحسن، 2022؛ الرفيعي، 2021؛ الدليمي، 2018؛ Kholikhmatov et al., 2023؛ Lee & Chongo, 2025)، في استشراف أثرها الإيجابيّ وفعاليتها في تحسين التحصيل، والدافعية، والمهارات في استخدام المختبرات الافتراضيّة. وفي مستوى أعمق من التحليل، التقت الدراسة الحاليّة مع دراسات أخرى كـ(أحمد وآخرون، 2022؛ الهادي والجبري، 2022؛ Pavlou & Zacharia, 2024; Terkaj et al., 2024) في هدفها النهائيّ المتمثل في تتويج نتائجها بتقديم "تصورات مقترحة" أو "أطر عمل" لتفعيل هذه المختبرات الافتراضيّة بشكل منهجيّ.

من حيث العينة: اتفق البحث الحالي مع توجه عام في الأدبيات السابقة على استطلاع آراء الكوادر التعليميّة والخبراء كعنصر أساسيّ في عمليّة التوظيف. وبشكل أكثر تحديدًا، التقت الدراسة الحاليّة مع دراسات(الحربيّ، 2023؛ الهادي والجبريّ، 2022؛ وكبير وعبد المنعم، 2017) في تركيزها على وجهة نظر الخبراء من الأكاديميين وأعضاء هيئة التدريس. كما تشاركت في اختيار العينات والفئات المستهدفة من الدراسة، مع دراسات(العتيبي وعكيري، 2024؛ الشهري وآخرون، 2023؛ زهراني،

2022؛ وبجيلي، 2019) في استهدافها للمعلمين والفنيين بشكل خاص كفئة محوريّة ومباشرة في تطبيق هذه التقنيات.

من حيث المنهج: اتفق البحث الحالي مع الدراسات السابقة؛ إذ سارت بشكل عام على نهج غالبيّة الدراسات السابقة في هذا الحقل البحثيّ؛ إذ تبنى المنهج الوصفيّ التحليليّ كإطار عام لإجراءات الدراسة، وبذلك، يتشارك في توجهه المنهجي مع دراسات(Pavlou & Zacharia, 2024; العتيبي وعكيري، 2024؛ العميري وآخرون، 2024؛ أبو عوه والعجميّ، 2023؛ الحربي، 2023؛ الهادي والجبري، 2022؛ الشهري وآخرون، 2023، وتركي والسبو، 2022؛ وبلفقيه، 2020) والتي اعتمدت جميعها على الأساليب الوصفيّة لتشخيص الواقع وتحديد التحديات والمتطلبات.

من حيث الأدوات: اتفق البحث الحالي مع توجه سائد في الدراسات والأدبيات السابقة؛ إذ ارتكز على استخدام الاستبانة كأداة رئيسيّة لجمع البيانات الكميّة. وبذلك تتشارك في أداتها المنهجيّة مع غالبية الدراسات التي تم عرضها، ومنها دراسات(العتيبي وعكيري، 2024؛ العميري وآخرون، 2024؛ الحربيّ، 2023؛ الشهريّ وآخرون، 2023؛ القديريّ، 2022؛ تركي والسبو، 2022؛ وكبير وعبد المنعم، 2017)، والتي وظفت جميعها الاستبانة كوسيلة أساسيّة لاستطلاع آراء عينات الدراسة وتصوراتهم.

أوجه الاختلاف:

اختلف البحث الحالي عن البحوث والدراسات السابقة في التالي:

من حيث الهدف: تميز البحث الحالي عن غالبية الدراسات السابقة بتركيزه على سياق تطبيقي محدد لم يتم تناوله بهذا الشمول من قبل، وهو (تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة). فبينما ركزت دراسات سابقة مثل دراسات(العميري وآخرون، 2024؛ الشهراني وحسن، 2022؛ القديري، 2022؛ الرفيعي، 2021) على الكيمياء، ودراسة(الهادي والجبري، 2022؛ والدليمي، 2018) على الأحياء، ودراسة(الحوسني، 2023) على العلوم العامّة، قدمت هذه الدراسة تحليلًا معمقًا لمتطلبات

وتحديات وآثار التوظيف في مجال الهندسة التطبيقيّة والأتمتة الصناعيّة. كما اختلفت في غايتها النهائيّة عن الدراسات التي كان هدفها الأساسيّ هو "تصميم وتطوير" مختبرات افتراضيّة باستخدام المحاكاة، مثل دراسات(الحوسني، 2023، Wang & Liu, 2024; Kholikhmatov et al., 2023; Cordero-Guridi et al., 2022)؛ بينما ركزت الدراسة الحاليّة على استكشاف وجهات نظر الخبراء حول الواقع والتحديات والآثار بدلًا من بناء الأداة نفسها.

من حيث العينة: انفرد البحث الحالي عن الدراسات السابقة باستهدافه لعينة متكاملة من "خبراء المجال" تشمل الإداريين والأكاديميين المستخدمين وغير المستخدمين؛ مما قدم رؤية شموليّة ومتعددة الأبعاد. وبهذا، تختلف بشكل جوهري عن غالبية الدراسات السابقة التي اقتصرت على فئة واحدة، مثل الدراسات التي ركزت على الطلاب كعينة أساسيّة، كدراسات(الشهراني وحسن، 2022؛ الرفيعي، 2021؛ الدليمي، 2018؛ كورديرو–جوريدي وآخرين, 2022؛ ديازغيرون وآخرون, 2022).

من حيث المنهج: تميز البحث الحالي عن غالبية الدراسات السابقة بتبنيه أسلوبًا مختلطًا يدمج بين البيانات الكميّة والنوعيّة. وبهذا، فإنه يختلف بشكل جوهري عن الدراسات التي اقتصرت على أسلوب واحد فقط، كتلك التي تبنت التوجه الكمي البحت المعتمد على الاستبانة، أو تلك التي ارتكزت على التوجه النوعيّ الخالص كدراسة(Terkaj et al., 2024). كما أنه يتمايز في غايته عن الدراسات ذات الطبيعة التجريبية أو شبه التجريبية التي كان هدفها الأساسي هو قياس الأثر إحصائيًا(الحوسني، 2023؛ الشهراني وحسن، 2022؛ الرفيعي، 2021؛ الدليمي، 2018؛ Lee & Chongo, 2025) إن تبني الدراسة الحالية لهذا الأسلوب المختلط ضمن إطارها المنهجي الوصفي التحليلي يمنحها عمقًا تفسيريًا مميزًا؛ إذ تُثري البياناتُ النوعيّة المستقاة من المقابلات النتائجَ الكمية التي توصلت إليها الاستبانة، مما يوفر فهمًا غنيًا للظاهرة يتجاوز مجرد الوصف الرقمي للواقع.

من حيث الأدوات: تميز البحث الحالي عن الدراسات السابقة بدمجه بين أداتين لجمع البيانات (الاستبانة والمقابلة)، مما أتاح لها إجراء تحليل ثلاثي (Triangulation) يجمع بين البيانات الكميّة والنوعيّة، وهو ما يمنح نتائجها عمقًا تفسيريًا. وبهذا، تختلف عن الدراسات التي اقتصرت على أداة واحدة فقط، سواء كانت استبانة لقياس الاتجاهات أو اختبارا تحصيليًا لقياس الأثر المباشر، كما في دراسة(الحوسني، 2023؛ الشهراني وحسن، 2022؛ الرفيعي، 2021؛ الدليمي، 2018) ودراسة ديازغيرون وآخرين(Diazgiron-Aguilar et al. ,2022)؛ إذ استخدمت هذه الدراسات الاختبار وبطاقة الملاحظة كأدوات رئيسيّة.

2.2.2 الدراسات المتعلقة بتنمية مهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (العمليّة أو الأدائيّة)

1.2.2.2 عرض الدراسات السابقة (الخاصة بالمحور الثاني)

بالانتقال إلى الدراسات التي كان محور اهتمامها مركزًا على الأداة البرمجيّة، قدّم **شيمودوغونتا وآخرون(Chemudugunta et al., 2025)** دراسة تطبيقيّة حديثة جدًا هدفت إلى تطوير ومحاكاة نظام مناولة مواد صناعيّ –باستخدام **Factory I/O**؛ حيث اعتمدت الدراسة منهج المحاكاة والتطوير، وذلك بتصميم نظام برمجي ناقل ذكيّ متكامل مع أجهزة استشعار وروبوتات في بيئة افتراضيّة متكاملة، وبالتالي لم تشتمل على عينة بشريّة. وقد أظهرت نتائج المحاكاة فعاليّة هذا التكامل في تحسين الكفاءة التشغيليّة وتقليل الأخطاء، وأكدت أن مخرجات النظام تتوافق بشكل مباشر مع متطلبات ومعايير الصناعة **4.0.** وتكمن أهميّة الدراسة في كونها تُقدم مثالًا تطبيقيًا مُعاصرًا، يوضح كيف يمكن استخدام **Factory I/O** ليس فقط لتعليم أساسيات البرمجة، بل لمحاكاة وتحسين أنظمة صناعيّة معقدة، مما يوفر للباحثين والطلاب رؤى قيمة حول إمكانات هذه الأدوات في دفع الابتكار.

في دراسة استشرافية من جامعة شنغهاي للعلوم والتكنولوجيا في الصين، استكشف **تشين وآخرون(Chen et al., 2025)** كيف يمكن لدمج المختبرات الافتراضيّة **(VL)** والذكاء الاصطناعي **(AI)** أن يُحدث ثورة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة، مع تقديم إطار عمل يدمج القيم الأخلاقية والمسؤولية الاجتماعية في التعليم الهندسي. اعتمدت الدراسة على المنهج البنائي الوصفي؛ حيث قامت ببناء إطار عمل نظري وتطبيقي متكامل دون إجراء تجربة مباشرة على عينة بشرية، بل استندت إلى استعراض دراسات حالة عالمية من ألمانيا والهند والبرازيل كأدلة داعمة. تمثلت أداة الدراسة في إطار العمل المقترح نفسه، الذي يدمج بين الذكاء الاصطناعي والمختبرات الافتراضيّة ونظام التحكم التنبئي **(MPC)**. تبلورت النتيجة الرئيسية في تقديم إطار عمل مُبتكر يوضح كيف يمكن للمحاكاة المعززة بالذكاء الاصطناعي أن تدمج بين نظرية التحكم المتقدمة والتعليم القيمي. وأوصت الدراسة بالتركيز مستقبلًا على توسيع نطاق وحدة التحكم المقترحة لتشمل مساقات متعددة التخصصات، مع ضرورة الاستثمار المستدام في البنية التحتية الرقمية وتأهيل المعلمين.

وفي دراسة ركزت على تقويم الأداء الكميّ، سعى **سيتيانا وآخرون(Setiana et al., 2025)** إلى تصميم وتشغيل نظام فرز آلي يعتمد على الوزن واللون باستخدام جهاز المتحكم المنطقي القابل للبرمجة باستخدام **Factory I/O** من خلال منهج المحاكاة والتجريب الذي اتبعته الدراسة لاختبار أداء النظام؛ حيث تمت برمجة النظام واختباره في وضعين (يدويّ وتلقائيّ)، وعليه لم تتضمن عينة من المشاركين. وظَّفت الدراسة بيئة المحاكاة التي تم من خلالها اختبار النظام. وأظهرت النتائج أن النظام حقق نسبة نجاح تشغيلي تتراوح بين 80%–90%، مما يُثبت فعاليّة المحاكاة كأداة لاختبار موثوقيّة الأنظمة قبل تطبيقها الفعليّ. وتبرز أهميّة هذه الدراسة في تقديمها لبيانات أداء كميّة ملموسة، مما يُضيف بُعدًا واقعيًا للنقاش حول قدرات وحدود هذه التقنيات، ويؤكد على أن هذه الأدوات، رغم فعاليتها العالية، ليست معصومة من الخطأ، مما يُعزز أهميّة التجربة الماديّة.

تناولت دراسة **دسوزا وآخرين(Dsouza et al., 2024)** التحدي الجوهريّ المُتمثل في الفجوة بين العالم الافتراضيّ والماديّ. من خلال تطبيق مشروع على عينة قصديّة من طلاب الماجستير بجامعة ميشيغان التكنولوجيّة. استخدمت الدراسة منهج دراسة الحالة بتطبيق طريقة المحاكاة الماديّة في الحلقة (Hardware in the Loop - HiL). تمثلت أدوات الدراسة في ربط المختبر الافتراضيّ Factory I/O مع جهاز تحكم منطقي قابل للبرمجة وواجهة HMI حقيقيين. وقد أثبتت النتائج نجاح هذا النهج في السماح للطلاب بالتطوير التكراريّ والتحقق من الكود البرمجيّ على أجهزة حقيقيّة تتفاعل مع بيئة افتراضيّة. وتبرز أهمية هذه الدراسة في تقديمها مثالًا تطبيقيًا متقدمًا على كيفية الدمج الفعّال بين العالمين، مما يُقدم حلًا عمليًا ومُبتكرًا للتحدي البيداغوجي المُتمثل في "الفجوة الحسيّة" التي تتركها المحاكاة البحتة. وأوصت الدراسة بشكل صريح بتبسيط تصميم المشروع في المستقبل، وأوصت ضمنيًا وبقوة باعتماد منهجيّة "المحاكاة الماديّة في الحلقة" (Hardware in the Loop - HiL) كأداة بيداغوجيّة فعّالة وآمنة لتدريب مهندسي المُستقبل.

هدفت دراسة **فارغاس هيرنانديز وآخرون**(Vargas et al., 2023) إلى تقويم فعاليّة استخدام بيئة متقدمة للمحاكاة الصناعية ثلاثية الأبعاد تُعرف باسم Factory I/O في تدريس الأتمتة الصناعيّة لطلاب الماجستير، والتي تدعم دمج وحدات التحكم المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) ضمن بيئة تعليمية مبتكرة ومنهج قائم على الكفاءات. اتبعت الدراسة منهج دراسة الحالة (Case Study) والوصفيّ التحليليّ؛ إذ دمجت بين التحليل الكميّ والنوعيّ لأداء الطلاب وآرائهم على مدار أربع دورات متتالية للمقرر الدراسيّ. ركزت الدراسة على تعزيز تعلم الطلاب للمهارات العمليّة المتعلقة بأنظمة التحكم الصناعيّة، بما في ذلك برمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة واكتشاف الأعطال وإصلاحها، وتطبيق بروتوكولات التشغيل الصناعي. شملت العينة طلابًا من برنامج الماجستير في الهندسة الكهربائية بجامعة بونتيفيكال الكاثوليكية في فالبارايسو (PUCV) في تشيلي. اعتمدت المنهجية على استخدام Factory I/O مع

MATLAB/Simulink ووحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة لتصميم وتنفيذ تجارب محاكاة تعكس تحديات صناعية واقعية. تم تقويم الأداء من خلال أدوات متنوعة شملت الاختبارات النظريّة، والتجارب العمليّة، بالإضافة إلى استبانات لجمع آراء الطلاب حول فعالية الأدوات التعليميّة. وتوصلت الدراسة إلى نتائج مهمة، أبرزها أن استخدام Factory I/O مع وحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة يوفر بيئة تعليمية مثالية لتحسين مستوى تعلم الطلاب؛ حيث يسهم في تطوير المهارات التي يصعب ممارستها في السياقات الأكاديمية التقليديّة مثل اكتشاف وتشخيص الأعطال، وفهم أهميّة بروتوكولات التشغيل الصناعيّ، وركزت على مهارات برمجة وتحليل الأنظمة الصناعية. وخلصت الدراسة إلى أن هذه الأدوات لا تُعزز فقط فهم الطلاب للمفاهيم النظريّة، بل ساهمت في تعزيز تفاعل الطلاب مع المفاهيم العملية وارتقت بقدرتهم على حل المشكلات المُعقدة وتأهيلهم بشكل أفضل لمواجهة متطلبات سوق العمل. وتبرز أهميّة هذه الدراسة في كونها تقدم دليلًا عمليًا حديثًا على أن الدمج المدروس للمحاكاة المتقدمة في المناهج الهندسيّة يؤدي إلى "ارتقاء حقيقيّ ملموس" في جودة الخريجين. وأوصت الدراسة بتوسيع نطاق استخدام المحاكاة التي تشمل وحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في مناهج تعليم التحكم الصناعي، مع تطوير أدوات تقويم شاملة لتحليل تأثيرها على أداء الطلاب في المجالات التطبيقية.

وسعت دراسة **أغيلار وآخرين**(Aguilar et al., 2022) إلى تطوير بيئة مختبر افتراضيّ لتدريب الطلاب والمهنيين على برمجة وتشغيل وحدات التحكم المنطقي القابلة للبرمجة (PLC) باستخدام تقنيات الواقع الافتراضيّ؛ مما يساهم في تحسين التدريب العملي وتقليل الحاجة إلى المعدات الفعلية. اعتمدت الدراسة منهج البحث التطبيقي (التطوير والتقويم)؛ إذ صُمِّمَت وطُوِّرَت بيئة افتراضيّة باستخدام برنامج (Unity) ونماذج ثلاثية الأبعاد أُنشِئَت بواسطة برامج التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD). تكونت عينة الدراسة من عينة قصدية مكونة من (65) طالبًا جامعيًا في مجال الهندسة الميكاترونيكيّة، أُخْتِيرُوا

عشوائيًا لتجنب التحيز، و(7) خبراء في المجال. استُخْدِمَت أدوات دراسة رئيسة كالاستبانات المبنية على مقياس قابلية الاستخدام (SUS) لقياس كفاءة وتفاعل المستخدمين مع النظام الافتراضيّ؛ إذ قَيَّمَ (15) منهم بيئة المختبر الافتراضيّ، بينما قَيَّمَ (50) آخرون منصة التحكم المنطقي القابل للبرمجة الافتراضيّة، بالإضافة إلى إشراك الخبراء السبعة لتقديم تقويماتهم بناءً على معايير معترف بها في تشغيل وحدات التحكم المنطقي. أظهرت النتائج أن بيئة المختبر الافتراضيّ حصلت على متوسط تقويم بلغ (73.19) نقطة على مقياس (SUS)، بينما سجلت منصة التحكم المنطقي الافتراضيّة (75.8) نقطة، مما يشير إلى مستوى عالٍ من قابلية الاستخدام والفاعلية. كما أظهر تقويم الخبراء نتيجة بلغت (86.87) نقطة؛ مما يعزز من موثوقية النظام المطور. وأوصت الدراسة بضرورة توسيع بيئة التدريب لتشمل مستويات أكثر تعقيدًا من البرمجة والتشغيل، واستكشاف إمكانية الربط بين بيئة المحاكاة الافتراضيّة ووحدات التحكم الفعليّة؛ مما يتيح تجربة تدريب أكثر تكاملًا وواقعية للمتعلمين. كما اقترحت الدراسة تنفيذ اختبارات على نطاق أوسع لزيادة موثوقية النتائج وتحديد المزيد من التحسينات الممكنة على النظام.

هدفت دراسة **براتاما وآخرون**(Pratama et al., 2022) إلى تحليل مختبر افتراضيّ مصمم لدعم تعلم الأتمتة الصناعية، وتحديدًا وحدات التحكم المنطقي القابلة للبرمجة (PLC) وبرنامج (Node-RED)، خاصة في ظل قيود جائحة كوفيد-19. طُبق منهج دراسة الحالة في جامعة "سويس جيرمان" بإندونيسيا؛ إذ تكونت العينة المتوفرة من مجموعة من طلاب الهندسة الصناعية الذين استخدموا المختبر في مشروعهم النهائي، وتم تقسيمهم إلى مجموعتين صغيرتين لأغراض التقويم: (11) طالبًا شاركوا في تقويم المحاضر، و(9) طلاب شاركوا في اختبار قبول المستخدم. استُخدمت في الدراسة برمجيات مفتوحة المصدر (OpenPLC و Node-RED) ونظام إدارة التعلم (Moodle)، وتم تقويم التجربة عبر استبانة تقويم المحاضر واستبانة قبول المستخدم كأدوات للدراسة. أظهرت النتائج استجابة إيجابية من

الطلاب؛ حيث أشارت إلى أن المختبر الافتراضي يدعم نقل المعرفة بفاعلية وكفاءة. وأوصت الدراسة بالتوسع في استكشاف إمكانيات برنامج (Node-RED)، واقترحت استخدام (CodeSYS) كبديل لـ (OpenPLC) الذي يفتقر للدعم الكافي.

في دراسة تطبيقية أجريت في جامعة بيليفيلد للعلوم التطبيقية (FH Bielefeld) بألمانيا، هدفت دراسة **عثمان وشتوكر** (Othman & Stöcker, 2022) إلى استعراض تجربة عملية في تصميم وتنفيذ واستخدام نظام تجارب افتراضيّ كأداة مكملة للبنية التحتية للمختبرات التقليدية في مجال تعليم هندسة الأتمتة. ركزت الدراسة على توضيح المزايا والتحديات، وتقديم إرشادات عملية للمؤسسات التعليمية التي تسعى لتبني مثل هذه التقنيات. معتمدةً على منهج دراسة الحالة والتصميم والتطوير، لم تتضمن الدراسة عينة بشرية لتقويم الأثر، بل ركزت على الجوانب التقنية والبيداغوجية لتصميم نظام مصعد افتراضيّ (Virtual Elevator) وتطبيقه في سياق مقرر دراسي. وقد تمثلت أدوات الدراسة في مجموعة من البرمجيات والأجهزة المتخصصة، أبرزها: محرك الألعاب Unity لبناء البيئة ثلاثية الأبعاد، وإضافة game4automation لتوفير نماذج سلوكية لمكونات الأتمتة، وبيئة التطوير TwinCAT3 التي تعمل كوحدات افتراضيّة للمتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، مع استخدام نظارات الواقع الافتراضيّ (VR) كخيار للعرض. أثبتت النتائج أن المختبرات الافتراضيّة تقدم مزايا كبيرة من حيث التكلفة والمرونة وسهولة التعديل، ولكنها في المقابل تتطلب مهارات جديدة من مهندسي المختبرات في مجال البرمجة وتكنولوجيا المعلومات. وخلصت الدراسة إلى أن المختبرات الافتراضيّة لا يمكن أن تحل محل التجارب الواقعية بالكامل، لكنها تمثل "إضافة منطقية ومهمة" للبنية التحتية للمختبرات. وبناءً على ذلك، أوصت الدراسة بضرورة تبني هذه التقنيات بشكل أكبر في المختبرات والتمارين العملية، واقترحت إنشاء منصة مستقبلية لتبادل ومشاركة النماذج الافتراضيّة بين المؤسسات التعليمية المختلفة لتعزيز التعاون وتقليل جهود التطوير.

سعت دراسة **بورنومو وآخرون**(Purnomo et al., 2021) إلى دراسة استجابات الطلاب لنظام تعلم قائم على مختبر عن بعد لوحدات التحكم المنطقي القابلة للبرمجة (PLC). استخدمت الدراسة المنهج المسحي بأسلوب وصفي كمي؛ إذ تكونت العينة من (380) طالبًا من طلاب المدارس الثانوية المهنية الحكومية والخاصة في تخصص الهندسة الكهربائية، اختيروا بشكل نسبي من عدة مدن في مقاطعة جاوة الغربية بإندونيسيا. استُخدِمت استبانة إلكترونية عبر نماذج جوجل كأداة لجمع البيانات حول أربعة جوانب رئيسية: سهولة استخدام النظام، فوائد النظام، الموقف من الاستخدام، وتقويم النظام. أظهرت النتائج أن نظام المختبر عن بعد كان سهل الاستخدام وساعد الطلاب بشكل فعال في ممارسة برمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، كما عبر غالبية الطلاب عن رضاهم وأبدوا استعدادهم للتوصية باستخدام المختبر لطلاب آخرين، مما يدل على استجابة إيجابية واسعة النطاق تجاه هذه التقنية.

هدفت دراسة **صباغ وآخرون**(Sabbagh et al., 2021) إلى تصميم وتطبيق إطار عمل متكامل لمختبر عن بُعد (Remote Labratory) لتعليم برمجة المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة، مع التركيز على دمج تقنيات الثورة الصناعيّة الرابعة (Industry 4.0) وإنترنت الأشياء (IIoT). اتبعت الدراسة منهجًا وصفيًا تطبيقيًا، كدراسة حالة حيث صُممت تفاصيل التنفيذ لمنصة تعليميّة وتم تطبيقها على عينة متوفرة من طلاب الهندسة الجامعيين في جامعة سنترال كوينزلاند بأستراليا. تمثلت أداة الدراسة في المنصة التعليمية نفسها التي أتاحت للطلاب التحكم في أجهزة متحكمات منطقية قابلة للبرمجة حقيقيّة عن بعد. كما أتاحت المنصة للطلاب الوصول عبر الإنترنت والتحكم وبرمجة أجهزة متحكمات منطقية قابلة للبرمجة حقيقيّة من سيمنز (Siemens). وتبلورت النتيجة الرئيسيّة للدراسة هي نجاحها في إنشاء إطار عمل فعال يربط بين الطلاب والأجهزة الماديّة عن بُعد، مما يوفر تجربة تعليميّة عمليّة وآمنة. وأظهرت الدراسة أن هذا النهج يسهم في سد الفجوة بين المعرفة الأكاديمية النظريّة والتطبيق العمليّ المطلوب في المصانع الذكيّة. وبالرغم من أن الدراسة لم تقدم توصيات بشكل صريح، إلا أن

نجاح الإطار المُقترح يمثل في حد ذاته توصية ضمنيّة بضرورة التوسع في تبني نماذج المختبرات التي يتم تطبيقها عن بُعد لتعزيز المناهج الهندسيّة. وبرزت أهميّة هذه الدراسة في تقديمها خارطة طريق تقنيّة وبيداغوجيّة لكيفيّة تطور تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من مجرد محاكاة في المختبرات الافتراضيّة إلى تفاعل حقيقي عن بُعد، مما يؤهل الطلاب بشكل مباشر للمهارات التي يتطلبها سوق العمل في عصرنا الحالي.

في دراسة تطبيقية أجريت في جامعة جاكرتا الحكومية بإندونيسيا، هدفت دراسة **سيوفريجال**(Syufrijal, 2020) إلى تطوير واختبار وسائط تعليمية تفاعلية لتعلم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة قائمة على بيئة تعلم افتراضيّة، وذلك بهدف جعل عملية التعلم أكثر جاذبية وواقعية ومتاحة للطلاب عن بعد. ولتحقيق هذا الهدف، اتبعت الدراسة المنهج التجريبي القائم على تصميم وبناء واختبار نظام المختبر الافتراضيّ ضمن بنية خادم–عميل (Client-Server). وركزت الدراسة على الجانب التقني والتطبيقي كدراسة حالة إثباتية للمفهوم (Proof-of-Concept)، وبالتالي لم تتضمن عينة بشرية محددة لقياس الأثر التعليمي، بل كان التركيز على بناء النظام واختبار وظائفه. وقد انحصرت أدوات الدراسة في المكونات البرمجية والمادية التي شكلت النظام، وهي: برنامج المحاكاة الصناعية ثلاثية الأبعاد (Factory I/O) لإنشاء المصنع الافتراضيّ، وجهاز تحكم منطقي حقيقي من نوع (Siemens S7-1200 PLC) ليكون بمثابة العقل المتحكم في الخادم، وبرنامج (TIA Portal) لبرمجة جهاز المتحكم المنطقي القابل للبرمجة، بالإضافة إلى برنامج الوصول عن بعد (TeamViewer) الذي مكّن المستخدمين من التحكم في النظام من أي مكان. أظهرت أبرز النتائج أن النظام الذي تم تطويره يعمل بنجاح؛ حيث تمكن المستخدمون من إنشاء برامج لوحدات التحكم المنطقي القابل للبرمجة للتحكم في المصنع الافتراضيّ عن بعد عبر شبكة الإنترنت دون الحاجة لتثبيت أي برامج متخصصة على أجهزتهم الشخصية. كما بينت الدراسة أن استخدام بيئة المحاكاة ثلاثية الأبعاد يجعل عملية التعلم أكثر

واقعية ويزيد من اهتمام الطلاب، وأثبتت جدوى توظيف تقنيات الوصول عن بعد في توفير حلول تعليمية مرنة تتجاوز الحدود المكانية للحرم الجامعي. ورغم أن الدراسة لم تقدم توصيات صريحة، إلا أن نجاح التجربة يمثل في حد ذاته توصية ضمنية بأهمية تبني مثل هذه الأنظمة التفاعلية والافتراضيّة لتجاوز التحديات التي تواجه المختبرات التقليدية، مثل التكلفة العالية والمحدودية المكانيّة.

استعرضت دراسة **موسى**(2020) اقتراح تطوير كتاب إلكتروني لاستخدامه في إكساب طلاب التعليم الثانوي الصناعي بعض مهارات التحكم المنطقي القابل للبرمجة. هدفت الدراسة إلى التوصل لمهارات التحكم المنطقي القابل للبرمجة اللازم إكسابها لطلاب مرحلة التعليم الثانوي الصناعي، باستخدام الكتاب الإلكتروني التفاعلي المدعوم بالمختبرات الافتراضيّة. استخدمت الدراسة منهجية المنهج الوصفي التحليلي في الدراسة وتحليل الأدبيات ذات الصلة بالكتب الإلكترونية وأبعاد التصميم التفاعلي لها، وفاعليتها في التعليم، وكذلك في تطوير أدوات الدراسة. لتحديد المهارات اللازمة، طُبقت استبانتين كأدوات دراسة على عينة قصديّة: الأولى بهدف استخلاص مهارات التحكم المنطقي القابل للبرمجة اللازم إكسابها لطلاب المرحلة الثانوية الصناعية، والأخرى لتحديد مهارات التحكم المنطقي القابل للبرمجة التي يمكن إكسابها للطلاب باستخدام الكتاب الإلكتروني التفاعلي المقترح. وقد توصلت الدراسة إلى تحديد 71 مهارة رئيسة، منها 17 مهارة فرعية يمكن إكسابها لطلاب الصف الثالث الثانوي الصناعي باستخدام الكتاب الإلكتروني المقترح، وتم توزيع هذه المهارات على ثلاث مجالات هي: مجال المهارات الأساسية للتحكم المنطقي القابل للبرمجة، ومجال المهارات الكمبيوترية والبرمجية للتحكم المنطقي القابل للبرمجة، ومجال المهارات التطبيقية والمعملية للتحكم المنطقي القابل للبرمجة. وفي ضوء تحقيق أهداف الدراسة فقد أوصى الباحث بضرورة إجراء دراسة تجريبية للتعرف على فاعلية الكتاب الإلكتروني المقترح في اكتساب مهارات التحكم المنطقي القابل للبرمجة لطلاب الصف الثالث الثانوي الصناعيّ.

عرضت دراسة **ريبرا وفيغاريو**(Riera & Vigário, 2017) منصتي المُحاكاة Home I/O و Factory I/O كأدوات تعليميّة مُبتكرة لتدريس التحكُم والأتمتة؛ إذ استخدمت الدراسة المنهج الوصفيّ التحليليّ لاستعراض إمكانيات هاتين المنصتين اللتين تُقدمان بيئة افتراضيّة لمنزل ومصنع، يُمكن للطلاب من خلالها تطبيق خوارزميات التحكُم وبرمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة. وبالتالي لم تشتمل الدراسة على عينة بشرية بل ركزت على تحليل الأدوات نفسها. وتم تقديم هذه الأدوات في سياق التعليم الهندسيّ بهدف توفير بديل آمن وفعّال ومنخفض التكلفة للمختبرات التقليديّة. خلصت الدراسة إلى أن هذه المنصات تُمكّن الطلاب من ممارسة مهارة "التكليف الافتراضيّ" (Virtual Commissioning)، وهي مهارة أساسيّة ومطلوبة في الصناعة الحديثة. وأوصت الدراسة بتبني مثل بيئات التعلُّم الافتراضيّة هذه لتزويد الطلاب بتجربة تعليميّة غنيّة وواقعيّة. وتبرز أهميّة هذه الدراسة في أنها من أوائل الدراسات التي سلطت الضوء على منصة Factory I/O كأداة ومختبر افتراضيّ مُتخصص وفعّال لتعليم التحكم، مما يوفر أساسًا علميًا قويًا للتوصية التي قدمتها الدراسة الحاليّة بتبني هذه المنصة كنقطة انطلاق.

وتناولت دراسة **زيلين تشو**(Zelin Zhu, 2017) تصميم وتطوير مختبر افتراضيّ لتعلم التحكم الآلي باستخدام مكونات ميكانيكية وكهربائية وهوائية لدعم دورة تعليمية في الأتمتة والتحكم. استهدفت الدراسة توفير بيئة تدريب تفاعلية وواقعية لطلاب التعلم عن بُعد وطلاب الحرم الجامعي؛ حيث يمكنهم اكتساب تجربة "تطبيق عملي" باستخدام محاكاة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة بدون المخاطر المرتبطة بالمختبرات الفيزيائية التقليدية. اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبيّ. صممت الدراسة تطبيق محاكاة تم تطويره ويعمل على منصات متعددة، مثل أجهزة الحاسوب الشخصية التي تعمل بنظام ويندوز والهواتف الذكية التي تعمل بنظام أندرويد. ورغم أن التطبيق كان موجهًا لطلاب التعلم عن بعد والحرم الجامعي، إلا أن الدراسة ركزت على عملية التصميم نفسها ولم تذكر تطبيقها على عينة محددة لتقويم الأثر. تضمنت منهجية التصميم إنشاء بيئة محاكاة ثلاثية الأبعاد تحتوي على مكونات قابلة للتوصيل

والأسلاك لمحاكاة الدوائر الكهربائية والهوائية. صُممت الواجهة باستخدام نماذج ثلاثية الأبعاد عالية الواقعية لتوفير تجربة تفاعليّة وغنيّة. أظهرت النتائج أن المختبر الافتراضيّ يحسن من استعداد الطلاب للتجارب العملية في المختبرات الفيزيائية التقليدية من خلال تقديم تجربة تفاعلية شبيهة بالواقع. كما ساعدت البيئة الافتراضيّة الطلاب في تقليل الأخطاء التي قد تحدث أثناء التجارب الواقعية، وزادت من فهمهم لمبادئ التحكم المنطقي القابل للبرمجة. أوصت الدراسة بتوسيع نطاق المختبر الافتراضيّ ليشمل تجارب أخرى في مجالات مختلفة، مثل الكيمياء والفيزياء. كما تدعو إلى دمج مثل هذه التقنيات في المناهج التعليمية لتوفير بيئة تعلم آمنة ومحفزة للطلاب في جميع أنحاء العالم.

وسعت دراسة **أبو منسي**(2016) إلى تقصي واستكشاف فاعلية المحاكاة الإلكترونيّة في تنمية مهارات التحكم المنطقي البرمجي، واستخدمت المنهج التجريبي على عينة قصديّة مكونة من (60) طالبًا من طلبة التخصصات (التركيبات الكهربائية، الصيانة الإلكترونيّة) في الكليات المهنيّة الهندسيّة مقسمة إلى مجموعتين تجريبية وضابطة بمعدل (15) طالبًا لكل تخصص في المجموعة التجريبية، و(15) طالبًا لكل تخصص في المجموعة الضابطة في الفصل الدراسي الثاني من العام الدراسي 2015–2016 في غزّة واعتمدت الدراسة على بطاقة ملاحظة لقياس مهارات التحكم المنطقي البرمجي، واختبار عملي، وتوصلت إلى النتائج الآتية: فعالية تعليم وتنمية مهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة باستخدام المحاكاة الإلكترونية لدى طلاب (التركيبات الكهربائية، الصيانة الإلكترونيّة) في كلية المهن الهندسية والذي أكدت عليه نتائج التطبيق البعدي لبطاقة ملاحظة المهارات في التحكم المنطقي البرمجي لصالح المجموعة التجريبية التي تعلمت باستخدام المحاكاة، وعدم وجود أي تأثير يُعزى لعلاقة التفاعل مع المحاكاة الإلكترونيّة حسب التخصص. وأوصت الدراسة بتوظيف برمجيات المحاكاة الإلكترونية في تنمية مهارات التحكم البرمجي على طلبة الكليات والجامعات والمدارس

الصناعيّة الفلسطينيّة، بالإضافة إلى تثقيف الأكاديميين بأهمية المحاكاة الإلكترونية ودورها في تحقيق التعلُّم الفعّال.

كما هدفت **دراسة هيسيه**(Hsieh, 2015) إلى تعلُّم مهارات التحكم المنطقي البرمجي من خلال تصميم 35 وحدة تدريب عملية متنقلة، وتطبيق العديد من التجارب بواسطتها؛ إذ استخدمت المنهج التجريبي على عينة متوفرة مكونة من 39 طالبًا من طلبة بكالوريوس جامعة تكساس مقسمة إلى مجموعتين تجريبية وضابطة في الفصل الدراسي الثاني من العام الدراسي 2014–2015 في تكساس وتمثلت أداة الدراسة في اختبار مهاري لقياس الأداء كأداة جمع البيانات، وتوصلت الدراسة إلى النتيجة المتمثلة في إيجابية التعلم باستخدام وحدات التدريب المصممة المتنقلة وهي المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة حيث كانت نتائج التعلم ومهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة أفضل من ناحية الأداء، وأوصت الدراسة بضرورة توظيف وحدات التدريب المصممة المتنقلة وهي المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في التعلُّم وإعطاء الطلبة فرصًا لمشاهدة وتطبيق العديد من الوحدات التحكم الأخرى نظرًا لإبداء الطلبة الرغبة بالمزيد من التعلم بواسطة هذه التقنية.

وهدفت دراسة **تانوجا شيروي**(Sheorey, 2014) إلى تطوير مختبر افتراضيّ لتعليم تصميم النظم الميكاترونيكيّة باستخدام محاكاة رقمية ودمج وحدات التحكم المنطقية القابلة للبرمجة كجزء أساسيّ من بنية النظام. ركزت الدراسة على المنهج شبه التجريبي والوصفي بتقديم تجارب عملية افتراضيّة تعتمد على تصميم الأنظمة والتحكم فيها، مما يعزز الفهم المفاهيمي للطلاب ويتيح لهم محاكاة المشكلات الصناعية الواقعية. صُممت التجارب الافتراضيّة لتشمل مرحلتين: الأولى تعتمد على تصميم الدوائر المنطقية باستخدام برمجيات المحاكاة، والثانية تطبيق الدوائر المصممة على الأجهزة عبر محاكاة "hardware-in-loop"باستخدام وحدات التحكم المنطقي القابل للبرمجة حيث شملت الدراسة عينة قصدية من طلاب وأعضاء هيئة التدريس من تخصصات الهندسة والميكاترونيكس. تم جمع البيانات

من خلال أدوات الدراسة كاستبانات وردود فعل المشاركين من الطلاب وأعضاء هيئة التدريس بعد إجراء التجارب. أظهرت النتائج أن استخدام المحاكاة مع وحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة الذي ساهم بشكل كبير في تحسين قدرة الطلاب على تصميم الدوائر المنطقية وفهم آلية عملها. كما أظهرت الدراسة أن التجارب الافتراضيّة يمكن أن تكون بديلًا فعالًا للتجارب العملية التقليدية، خاصة في المؤسسات ذات الموارد المحدودة. أوصت الدراسة بزيادة دمج المختبرات الافتراضيّة للمتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في المناهج التعليمية لتوفير تجربة تعليمية شاملة. كما دعت إلى تطوير محتوى تعليمي إضافي يشمل تطبيقات متقدمة للتحكم الصناعي وتعزيز التقنيات التفاعلية مثل الواقع الافتراضيّ لتحسين الفاعلية التعليمية.

2.2.2.2 التعقيب على الدراسات المتعلقة بتنمية مهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (العمليّة أو الأدائيّة).

من خلال عرض البحوث والدراسات السابقة يمكن استخلاص ما يلي:

أوجه الاتفاق:

من حيث الهدف: اتفق البحث الحالي مع جميع الدراسات السابقة في هذا المحور على الأهميّة المحوريّة للمختبرات، سواء كانت افتراضيّة أو ماديّة، كأداة أساسيّة لتنمية مهارات المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة، فعلى الرغم من تنوع الأهداف الفرعيّة، إلا أنها تشاركت جميعًا في السعي لتعزيز هذه المهارات، سواء كان الهدف هو تصميم بيئة تعليميّة متكاملة (Chemudugunta et al., 2025)، أو تقويم فعاليّة منهج تعليمي مُبتكر وذلك في دراسة فارغاس هيرنانديز وآخرون (Vargas et al., 2023)، أو قياس أثر أداة محددة (أبو منسي، 2016)، أو تحليل استجابات الطلاب لنظام قائم على مختبر عن بعد (Purnomo et al., 2021)، أو تطوير حلول تدريبيّة متقدمة وذلك في دراستي أغيلار وآخرين(Aguilar et al., 2022) وشيروي(Sheorey, 2014).

من حيث العينة: اتفق البحث الحالي مع توجه عام في الدراسات السابقة ركز على استطلاع آراء الكوادر التعليميّة والخبراء كعنصر أساسيّ في عمليّة التطوير التعليميّ. وبشكل أكثر تحديدًا، التقت الدراسة الحاليّة مع دراسة تانوجا شيروي (Sheorey, 2014) في استهدافها لأعضاء هيئة التدريس كجزء من الخبراء المعنيين. ومع ذلك، تتميز الدراسة الحاليّة بتوسيع نطاق العينة لتشمل "خبراء المجال" بفئاتهم المتعددة (أكاديميين وإداريين)، مما يوفر منظورًا أكثر شمولية مقارنة بالدراسات التي ركزت على فئة واحدة.

من حيث المنهج: اتفق البحث الحالي في إطاره المنهجي العام مع الدراسات التي تبنت المنهج الوصفي التحليلي لتقويم واستكشاف الجوانب التعليمية المتعلقة بمهارات التحكم، وبذلك يتشارك في توجهه مع دراسات حديثة مثل (Chen et al., 2025; Vargas et al., 2023; Aguilar et al., 2022; Pratama et al., 2022; Othman & Stöcker, 2022; Purnomo et al., 2021; Syufrijal, 2020) التي استخدمت الأساليب الوصفيّة لتقويم هذه التقنيات أو بناء أطر عمل لها. وبشكل خاص اتفق البحث الحالي مع دراسة موسى (2020) في تطبيق المنهج الوصفيّ لاستكشاف الجوانب التعليميّة المُتعلقة بتطوير مهارات التحكم المنطقيّ القابل للبرمجة.

من حيث الأدوات: اتفق البحث الحالي مع توجه منهجي سائد في الدراسات ذات الصلة؛ حيث اعتمد على أدوات المسح والاستطلاع كآلية رئيسيّة لجمع البيانات حول تصورات وآراء الفئات المستهدفة. وبذلك، تتشارك في أداتها المنهجيّة مع دراسات (Pratama et al., 2022; Purnomo et al., 2021; موسى، 2020؛ Vargas et al., 2023; Aguilar et al., 2022; Sheorey, 2014)، التي وظفت جميعها الاستبانة كأداة أساسيّة لاستكشاف وجهات نظر الطلاب أو الخبراء وتقويم تجاربهم.

أوجه الاختلاف:

اختلف البحث الحالي عن البحوث والدراسات السابقة في التالي:

من حيث الهدف: على الرغم من وجود تقاطعات، إلا أن البحث الحالي تتميز عن الدراسات السابقة في عدّة جوانب جوهريّة. فمن حيث الهدف تميزت الدراسة بأنها لم تركز على قياس "المهارة" نفسها بشكل مباشر، كما فعلت دراسة (Hsieh, 2015)، ولم تهدف إلى "بناء إطار عمل تقني" متقدم كما في دراسة (Chen et al., 2025)، أو "تطوير نظام محاكاة" كما في دراسات (Othman & Stöcker, 2022; Syufrijal, 2020)، بل سعى إلى استكشاف "وجهات نظر الخبراء" حول (واقع، وتحديات، وآثار) توظيف الأدوات التي تُنمي هذه المهارة. وبهذا فهي تُقدم منظورًا استراتيجيًا وبيداغوجيًا يكمل الدراسات التي ركزت على قياس الأداء المباشر للطلاب أو بناء النماذج التقنيّة.

من حيث العينة: اختلف البحث الحالي بشكل واضح عن الدراسات السابقة في العينة المستهدفة بسبب الاختلاف في الهدف؛ فبينما ركزت جميع الدراسات السابقة في هذا المحور تقريبًا على "الطلاب" كعينة أساسيّة للدراسة، كما في دراسات (Pratama et al., 2022; Purnomo et al., 2021; موسى، 2020؛ Vargas et al., 2023; Aguilar et al., 2022; Sheorey, 2014)، أو لم تتضمن عينة بشريّة على الإطلاق كما في دراسات (Chen et al., 2025; Othman & Stöcker, 2022; Syufrijal, 2020)، انفردت الدراسة الحالية باستهدافها لعينة متكاملة من "خبراء المجال" بفئاتهم المختلفة من أكاديميين وإداريين.

من حيث المنهج: انعكاسًا لاختلاف البحث الحالي في الهدف والعينة، تميّز البحث الحالي بشكل جوهري عن غالبية الدراسات السابقة في هذا المحور. فبينما كان التوجه الغالب هو المنهج التجريبي أو شبه التجريبي الذي يسعى لقياس الأثر المهاري بشكل مباشر، كما في دراسات(Dsouza et al., 2024; Zelin Zelin Zhu, 2017; Hsieh, 2015)، أو المنهج البنائي النظري ودراسة الحالة كما في

دراسات(Chen et al., 2025; Othman & Stöcker, 2022; Syufrijal, 2020)، تبنى البحث الحالي المنهج الوصفي التحليلي بأسلوب مختلط (كمي ونوعيّ) بهدف استخلاص "وجهات نظر الخبراء" وتصوراتهم، وهو منظور استراتيجي يكمل الدراسات التجريبية ولا يكررها.

من حيث الأدوات: تبعًا لاختلاف المنهج، اختلفت الأدوات المستخدمة بشكل كبير. فبينما اعتمدت الدراسات التجريبيّة على أدوات قياس الأداء المباشر مثل "بطاقة الملاحظة" و"الاختبار العمليّ"، كما في دراسة(أبو منسي، 2016)، واعتمدت دراسات التطوير على "الأنظمة والمكونات البرمجية" كأدوات أساسية مثل دراستي(Othman & Stöcker, 2022; Syufrijal, 2020)، انفردت الدراسة الحاليّة بدمجها بين أداتيّ "الاستبانة" و"المقابلة" بهدف استخلاص رؤى وتصورات عميقة من الخبراء. بدلًا من قياس الأداء المهاريّ المباشر.

3.2 موقع البحث الحالي وأوجه الإفادة من الدراسات السابقة

استنادًا إلى العرض التحليليّ السابق، يتضح أن هذه الدراسة، رغم تقاطعها مع العديد من الدراسات السابقة في موضوعها العام، إلا أنها تتميز بموقعها البحثيّ الفريد وتسعى لسد فجوة بحثيّة واضحة. ففي حدود علم الباحثة، وبعد مراجعة شاملة للأدبيات العربيّة والأجنبيّة، لم يتم العثور على دراسة سابقة تناولت بشكل متكامل (واقع، وتحديات، وآثار) توظيف المختبرات الافتراضيّة في سياق "تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة" من وجهة نظر الخبراء في الجامعات الفلسطينيّة.

ففي حين أن الدراسات العالمية تتجه نحو آفاق مستقبلية كدمج الذكاء الاصطناعي(**Chen et al., 2025**)، أو تقيس أثر المختبرات على الطلاب في سياقات دولية (دراسات الأثر)، أو تشخص واقع استخدامها بشكل عام (دراسات الواقع)، أو تركز على تصميم وتطوير منصات محددة (دراسات التطوير)، وتستعرض دراسات أخرى تجارب تطبيقية عملية لبناء أنظمة مختبرات افتراضيّة للمتحكمات

المنطقية القابلة للبرمجة في سياقات دولية متنوعة مثل إندونيسيا وألمانيا، كما في دراستي سيوفريجال(**Syufrijal, 2020**) و عثمان وشتوكر (**Othman & Stöcker, 2022**)، إلا أن هذه الدراسات ركزت بشكل أساسي على الجانب التقني للتطوير (كيفية بناء النظام). ورغم وجود دراسات حديثة تناولت الموضوع من منظور الطالب أو التقويم التقني مثل دراستي(**Pratama et al., 2022**) و(**Purnomo et al., 2021**)، ودراسات عربية مثل(الشهراني وحسن، 2022؛ والرفيعي، 2021) في سياقات العلوم العامة، تبقى هناك فجوة واضحة في فهم وجهات نظر الخبراء (الأكاديميين والإداريين) حول الجوانب البيداغوجية والإدارية (لماذا وكيف نطبق؟) المتعلقة بواقع وتحديات وآثار تطبيق هذه التقنيات في مجال تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة تحديدًا في البيئة الأكاديمية الفلسطينيّة. فإن هذه الدراسة تتميز من خلال:

1. تركيزها على سياق تطبيقي متخصص لم يحظ باهتمام كافٍ في الأدبيات العربيّة والفلسطينيّة، وهو "تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة"، مما يجعلها دراسة تأسيسيّة في هذا المجال.
2. تبنيها لمنظور شمولي ومتكامل من خلال استطلاع آراء "خبراء المجال" بفئاتهم المختلفة (الأكاديميين المستخدمين وغير المستخدمين، والإداريين)، مما يوفر رؤية بانوراميّة ثلاثيّة الأبعاد تتجاوز الدراسات التي اقتصرت على منظور واحد.
3. تبنيها لأسلوب منهجي مختلط (كمي ونوعيّ) ضمن إطار المنهج الوصفي التحليلي؛ إذ تدمج البيانات الكمية الواسعة من الاستبانة مع البيانات النوعيّة العميقة من المقابلات، مما يوفر فهمًا غنيًا وتفسيريًا للظاهرة يتجاوز الدراسات التي اقتصرت على أسلوب واحد فقط.
4. تتويجها لنتائجها التحليليّة بتقديم "تصوّر مُقترح" عملي ومفصّل، مما ينقلها من مرحلة التشخيص إلى مرحلة تقديم الحلول، وهو توجه حديث تسعى إليه الدراسات التطبيقيّة(أبو عوه والعجميّ، 2023؛ الهادي والجبري، 2022).

أوجه الإفادة من البحوث والدراسات السابقة

1. بلورة مشكلة البحث، وصياغة سؤاله، وهدفه، وأهميته: ساهمت دراسات(الحربي، 2023؛ أبو منسي، 2016) ودراسة بورنومو وآخرون(Purnomo et al., 2021) التي أظهرت القبول الواسع لتقنيات المختبرات عن بعد، في تأكيد الفجوة البحثيّة وبلورة الحاجة لدراسة متعمقة في السياق الفلسطينيّ.
2. التأصيل النظريّ للبحث: تم الاستناد إلى عشرات الدراسات النظريّة والتطبيقيّة، بما في ذلك الدراسات التأسيسية مثل دراسة بافلو وزكريا(Pavlou & Zacharia, 2024) والمستقبلية مثل دراسة تشين وآخرون(Chen et al., 2025). التي ساهمت في إثراء الإطار النظري بأحدث التوجهات العالمية في المجال، لبناء إطار نظريّ متين يُغطي مفهوم المختبرات الافتراضيّة، أسسها التربويّة، وتطبيقاتها في مجال التحكّم الصناعيّ. وقد ساهمت دراسات مثل سيوفريجال(Syufrijal, 2020) و عثمان وشتوكر(Othman & Stöcker, 2022) بشكل خاص في إثراء هذا الإطار بأمثلة عملية مفصلة حول الأدوات والتقنيات المستخدمة في بناء المختبرات الافتراضيّة، مما حول المفاهيم النظرية إلى تطبيقات ملموسة.
3. بناء أدوات البحث: تم الاستفادة من أدوات الدراسات السابقة، خاصة دراسات(الشهريّ وآخرون، 2023؛ بلفقيه، 2020)، والدراسات العربيّة الحديثة كدراستي(الشهراني وحسن، 2022؛ والرفيعي، 2021) التي تناولت السياق التعليمي العربي، في تحديد المحاور الكميّة للاستبانة وصياغة الأسئلة شبه المنظمة لدليل المقابلة وتهدف إلى تعميق فهم تلك المحاور. وبشكل خاص، ساهمت دراستي سيوفريجال(Syufrijal, 2020) وعثمان وشتوكر(Othman & Stöcker, 2022) في صياغة محاور وأسئلة تتعلق بالبنية التحتية التقنية المطلوبة والمهارات اللازمة للكادر الفني.

4. مناقشة النتائج وتفسيرها؛ حيث كانت الدراسات السابقة، خاصة الحديثة منها(Chen et al., 2025; Dsouza et al., 2024; Li & Liang, 2024; Vargas et al., 2023; Pratama et al., 2022; Purnomo et al., 2021) في مجال التحكم الصناعي، هي المنصة التي تم من خلالها تحليل وتفسير وتثليث (Triangulation) نتائج الدراسة الحاليّة ووضعها في سياقها البحثيّ العالميّ، مما أضفى على المناقشة عمقًا ومصداقيّة، كما يمكن مقارنة آراء الخبراء في الدراسة الحالية حول التحديات التقنية مع ما توصلت إليه دراسة عثمان وشتوكر (Othman & Stöcker, 2022)، كما يمكن مقارنة تفضيلاتهم لأنواع البرمجيات مع الأدوات التي استخدمتها دراسة سيوفريجال(Syufrijal, 2020)، مما يضفي على المناقشة عمقًا ومصداقيّة.

5. دعم التصور المقترح: شكلت دراسات(Terkaj et al., 2024; Syeed et al., 2022)، بالإضافة إلى الرؤى المستقبلية التي قدمتها دراسة تشين وآخرون(Chen et al., 2025)، وكذلك النماذج التطبيقية والسيناريوهات العملية المقترحة في دراستي سيوفريجال(Syufrijal, 2020) وعثمان وشتوكر (Othman & Stöcker, 2022)، الأساس المنهجيّ والبيداغوجيّ الذي بُني عليه "التصور المُقترح"، مما حوله من مجرد فكرة إلى خطة عمل تستند إلى أفضل الممارسات العالميّة.

يتضح من خلال ما تقدم من دراسات عربية وأجنبية أن هناك اهتمامًا بحثيًا متزايدًا بالمختبرات الافتراضيّة كأداة تعليميّة فعّالة. وقد أكدت هذه الدراسات، على اختلاف مناهجها وسياقاتها، على أن توظيف المختبرات الافتراضيّة يؤثر بشكل إيجابي وملموس في مختلف جوانب العمليّة التعليميّة، خاصة في المجالات الهندسيّة والتطبيقيّة. وبذلك اتفقت نتائج الدراسات السابقة في مُجملها مع ما توصلت إليه بعض الدراسات الحديثة مثل دراسة بجيلي(2019)، ودراسة أغيلار وآخرين(Aguilar et al., 2022)، ودراسة فارغاس هيرناندیز وآخرين(Vargas et al., 2023)، التي أثبتت جميعها أهمية بيئات التعلُّم الافتراضيّة في تعزيز المهارات العمليّة وتجسير الفجوة بين النظريّة والتطبيق في تعليم الأتمتة والتحكم.

الفصل الثالث

الطريقة والإجراءات

1.3 منهجية الدراسة

2.3 مُجتمع الدراسة وعينتها

1.2.3 العيّنة الاستطلاعيّة

2.2.3 عيّنة الدّراسة الأساسيّة (الكميّة والنوعيّة)

3.3 أدوات الدراسة وخصائصها

1.3.3 الأداة الكميّة (الاستبانة)

1.1.3.3 صدق الاستبانة

2.1.3.3 ثبات الاستبانة

2.3.3 الأداة النوعيّة (المقابلة شبه المنظمة)

1.2.3.3 تصميم دليل المقابلة ومساراتها

2.2.3.3 موثوقية الأداة النوعيّة

4.3 متغيرات الدراسة

5.3 أخلاقيات الدراسة

6.3 إجراءات تنفيذ الدراسة

7.3 المعالجات الإحصائيّة

الفصل الثالث

الطريقة والإجراءات

يتناول هذا الفصل وصفًا تفصيليًا وشاملًا للإطار المنهجي الذي اتبعته الباحثة لتحقيق أهداف الدراسة، واختبار فرضياتها، والإجابة عن أسئلتها. ويشمل ذلك عرضًا لمنهج الدراسة الذي اعْتُمِد، وتحديدًا دقيقًا لمجتمع الدراسة وعينتها وكيفية اختيارها، والأدوات التي استُخدِمت في جمع البيانات، بالإضافة إلى الإجراءات المنهجية المتبعة للتحقق من الخصائص السيكومترية للأدوات، وأخيرًا، عرض الأساليب المُتبعة في تحليل البيانات الكميّة والنوعيّة.

1.3 منهجية الدراسة

انطلاقًا من طبيعة الدراسة والمعلومات المراد الحصول عليها، ومن أجل تحقيق أهداف الدراسة، واختبار فرضياتها، والإجابة عن أسئلتها، اتبعت الباحثة المنهج الوصفي التحليلي، بالاعتماد على أسلوب البحث المختلط (Mixed-Methods Research)، الذي يجمع بين الأسلوب (الكميّ والنوعيّ) في جمع البيانات وتحليلها داخل دراسة واحدة بهدف الاستفادة من مزايا كل منهما مما يوفر فهما أعمق وأكثر شمولية للظاهرة المدروسة(Creswell & Creswell, 2018).

2.3 مجتمع الدراسة وعينتها

تكون مجتمع الدراسة من جميع خبراء المجال من إداريين وأكاديميين، وخبراء ذوي صلة مباشرة من المتخصصين في تعليم موضوع المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في مؤسسات التعليم العالي والتقني في الضفة الغربية في فلسطين، خلال الفصلين الأول والثاني من العام الدراسي (2024م/2025)، والبالغ عددهم (120) خبيرًا بعد التواصل مع جميع الجامعات والكليات التقنيّة في

جميع مدن الضفة الغربية، وحصر المساقات التي تتضمن المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في محتواها؛ أُخْتِيرَ (120) خبيرًا بطريقة قصدية؛ نظرًا لامتلاكهم خبرةً أكاديمية وتطبيقية متخصصة في مجال هندسة التحكم والأتمتة الصناعية، وتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة. وقد حُدِّد هؤلاء الخبراء بناءً على معايير تضمن الجمع بين المعرفة النظرية العميقة بأسس أنظمة التحكم، والخبرة العملية الموثقة في تصميم وبرمجة وتطبيق أنظمة التحكم الرقمي القابل للبرمجة في المختبرات أو الصناعة، والممارسة التعليمية المباشرة في تدريس المقررات ذات الصلة لطلبة الهندسة والتكنولوجيا. هذا المزيج المتكامل من الخبرات يضمن أن آراءهم لا تعكس فقط فهمًا تقنيًا، بل رؤية بيداغوجية (تربوية) واضحة حول واقع وتحديات وآثار توظيف المختبرات الافتراضيّة في هذا المجال المتخصص.

أما عيّنة الدّراسة، فقد اختيرت كالآتي:

1.2.3 العيّنة الاستطلاعيّة (Pilot Study)

طُبِّقَت أداة الدراسة على عينة مكونة من (60) خبيرًا اخْتِيرُوا بالطريقة المُيسرة من مجتمع الدراسة، وطُبقت عليهم الاستبانة بهدف التحقق من خصائصها السيكومترية. وقد استُبْعِد أفراد هذه العينة من العينة الأساسيّة.

2.2.3 عيّنة الدّراسة الأساسيّة (الكميّة والنوعيّة) (Sample Study)

العينة المشاركة في الأداة الكميّة (الاستبانة)

نظرًا لطبيعة الدراسة التي تتطلب معرفة معمّقة وخبرة متخصصة، ونظرًا لطبيعة مجتمع الدراسة المحدود والمتخصص، لُجِئَ إلى العينة القصديّة (Purposive Sample)؛ إذ حُدِّد الخبراء الذين يشكلون جميع أفراد مجتمع الدراسة من معلمي وفنيي وإداريين وأكاديميين في الكليات التقنيّة

والجامعات بالضفة الغربية ممن يملكون خبرة عملية أو إشرافية مباشرة في مجال تدريس المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، وتكونت عينة الدراســـة من (60) خبيرًا، والجدول (1.3) يبين توزيع عينة الدراسة على المتغيرات الديموغرافية.

جدول (1.3): *توزيع أفراد العينة الأساسيّة للدراسة وفقًا لمتغيراتهم الديموغرافيّة*

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية (%)
طبيعة العمل	أكاديمي	38	%63.3
	إداريّ	22	%36.7
	المجموع	60	%100
واقع الاستخدام	أكاديمي مستخدم	13	%21.6
	أكاديمي غير مستخدم	25	%41.6
	المجموع	38	%63.3
سنوات الخبرة	أقل من 5 سنوات	12	%20
	من 5 إلى 10 سنوات	20	%33.3
	أكثر من 10 سنوات	28	%46.7
	المجموع	60	%100

العينة المشاركة في الأداة النوعيّة (المقابلة)

اخْتِيرَ (46) خبيرًا؛ (38) أكاديميًا (13 من المستخدمين للمختبر الافتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، و25 من غير المستخدمين)، و(8) إداريين من أفراد عينة الدراسة الأساسيّة وهي ذاتها مُســـتلة من عينة الدراســـة البالغة من (60) خبيرًا، وذلك لإجراء مقابلات وجاهيّة معهم والحصــول على بيانات نوعيّة تفصــيليّة. وقد اخْتِيرُوا بالطريقة القصــدية بعد موافقة المشــاركين وهم عينة المناقشة البؤرية.

3.3 أدوات الدراسة وخصائصها

لتحقيق أهداف الدراسة راجعت الباحثة الأدبيات التربوية والدراسات السابقة المتعلقة بموضوع الدراسة، ومن ثم طورت واعتمدت أداتين متكاملتين هما: استبانة إلكترونية كأداة رئيسية لجمع البيانات الكميّة، بالإضافة إلى إجراء مقابلات مع عدد من الخبراء لجمع البيانات النوعيّة لتعميق الفهم وتفسير النتائج.

1.3.3 الأداة الكميّة: الاستبانة (The Questionnaire)

بُنِيَت وطُوِّرَت استبانة من خلال الرجوع للدراسات السابقة، وقد استندت الباحثة في صياغة فقرات محور الواقع إلى دراسات(العميري وآخرون، 2024؛ أبو عوه والعجميّ، 2023؛ Wang & Liu, 2024)، وقد صُنِّفت وصِيغَت فقرات محور التحديات بالاستناد إلى دراسات عديدة تناولت هذه المعوقات بشكل مباشر أو غير مباشر فصياغة فقرات التحديات التقنيّة والماديّة استندت إلى دراسات(الشهري وآخرون، 2023؛ تركي والسبو، 2022؛ الهادي والجبري، 2022)، وصياغة فقرات التحديات التربويّة والبيداغوجيّة استُمِدَت من دراسات(العميري وآخرون، 2024؛ Pavlou & Zacharia, 2024)، وصياغة فقرات التحديات المؤسسيّة والثقافيّة إلى دراسات(الحربي، 2023، بلفقيه، 2020)، وقد استندت الباحثة في صياغة فقرات محور الآثار المتوقعة إلى النتائج المثبتة في عدد كبير من الدراسات التجريبية والتحليلية؛ إذ صِيغَت فقرات الآثار التربويّة والمهاريّة على الطالب من دراسات(Li & Liang, 2024; Pavlou & Zacharia, 2024; Vargas et al., 2023; الحوسني، 2023) بينما صِيغَت فقرات الآثار الاستراتيجية والمؤسسية بالاستناد إلى دراسة(Wang & Liu, 2024; Sabbagh et al., 2021).

وتكونت الاستبانة في صورتها الأوليّة من (30) فقرة موزعة على ثلاثة محاور رئيسية، وهي:

1. المحور الأول: واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة. (10 فقرات)

2. المحور الثاني: تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة. (12 فقرة)

3. المحور الثالث: الآثار المترتبة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة. (8 فقرات)

واستُخْدِم مقياس ليكرت الخماسي (Five-Point Likert Scale) مع تدرّج مُصمم خصيصًا لكل محور؛ ففي محوري الواقع والآثار المتوقعة، لقياس درجة الموافقة أُعطيت الأوزان التالية: (أوافق بشدّة: 5 درجات، أوافق: 4 درجات، مُحايد: 3 درجات، لا أوافق: درجتان، لا أوافق بشدّة: درجة واحدة)، أما في محور التحديات فقد أُعطيت الأوزان التالية: (يُشكل تحديًا كبيرًا جدًا: 5 درجات، يُشكل تحديًا كبيرًا: 4 درجات، يُشكل تحديًا متوسطًا: 3 درجات، يُشكل تحديًا قليلًا: درجتان، لا يُشكل تحديًا على الإطلاق: درجة واحدة) وذلك لقياس درجة التحدي بدقة.

1.1.3.3 صدق الاستبانة (Validity of the Questionnaire)

للتحقق من صدق الاستبانة التي طُوِّرَت للدراسة الحالية اعتمدت الباحثة على طريقتين لتحقيق ذلك هما:

1. الصدق الظاهري (Face Validity)

للتأكد من الصدق الظاهري عُرضت الاستبانة في صورتها الأوليّة انظر مُلحق (أ) على (5) محكمين، من باحثين وأكاديميين موثوق بهم وذوي خبرة في المجال المعرفي المناسب من أعضاء هيئة التدريس المتخصصين كما هو موضّح في ملحق (ت)، وطُلب منهم تحديد قدرة الفقرات على قياس مجالاتها دون غيرها وبشمولية، بالإضافة إلى وضوح فقراتها، وسلامتها اللغويّة، وانتمائها للمحور المخصص لها. وقد اعتمد معيار الاتّفاق (80%) كحد أدنى لقبول الفقرة، وبناء على اقتراحات المحكّمين وملاحظاتهم، وقد حُذِفَت (3) فقرات بسبب تداخل بعض الفقرات مع فقرات أخرى أكثر أهمية ودقة في قياس المحور نفسه، أو بسبب ازدواجيّة

الفقرة إذ إنّها تتضـمن (الوقت والجُهد) في فقرة واحدة، مما يُربك المُسـتجيب ويجعل البيانات غير موثوقة. أو بسـبب قياس إحدى الفقرات أثرًا ثانويًا غير مباشـر، مما يضـمن تركيز الاستبانة على الأهداف الرئيسية للدراسة، وقد أصبح عدد فقرات الاستبانة بعد التحكيم (27) فقرة كما هو موضح في مُلحق (ج).

2. صدق البناء (Construct Validity):

يشير صدق البناء إلى قدرة كل عبارة في الأداة على الإسهام بدقة وصحّة في الدَّرجة الكليَّة، ويعبّر عن ذلك إحصائيًا بمعامل ارتباط العبارة بالدَّرجة الكليَّة للأداة، من أجل التحقق من أن الاسـتبانة تقيس بالفعل ما صُـممت لقياسـه، وتُحُقِّقَ من صـدق البناء عبر اتباع منهجين إحصائيين متكاملين، وهما: التحليل العاملي الاستكشافيّ (EFA)، والاتساق الداخلي للفقرات

أولًا: التحليل العاملي الاستكشافي (Exploratory Factor Analysis – EFA)

يُعد التحليل العاملي الاستكشافي الأداة الإحصائيّة الأساسيّة للتحقق من البُنيّة الكامنة للاستبانة. ويهدف إلى اختزال عدد كبير من الفقرات إلى عدد أقل من الأبعاد الرئيسـية، والتأكد من أن الفقرات المُصممة لقياس بُعد مُعين تتجمع معًا بالفعل تحت عامل واحد. أُجْرِيَ وفق الخطوات التالية:

1. التحقق من ملاءمة البيانات (Data Suitability Assessment): تأكدت الباحثة من ملاءمة بيانات العينة الاستطلاعية عبر اختبارين:

أ. كايزر ماير أولكين (Kaiser-Meyer-Olkin and Bartles's test - KMO): بلغت قيمته (0.812)، وهي قيمة ممتازة وأعلى من الحد المقبول (0.60) مما يعني كفاية حجم العينة للتحليل العاملي الاستكشافي.

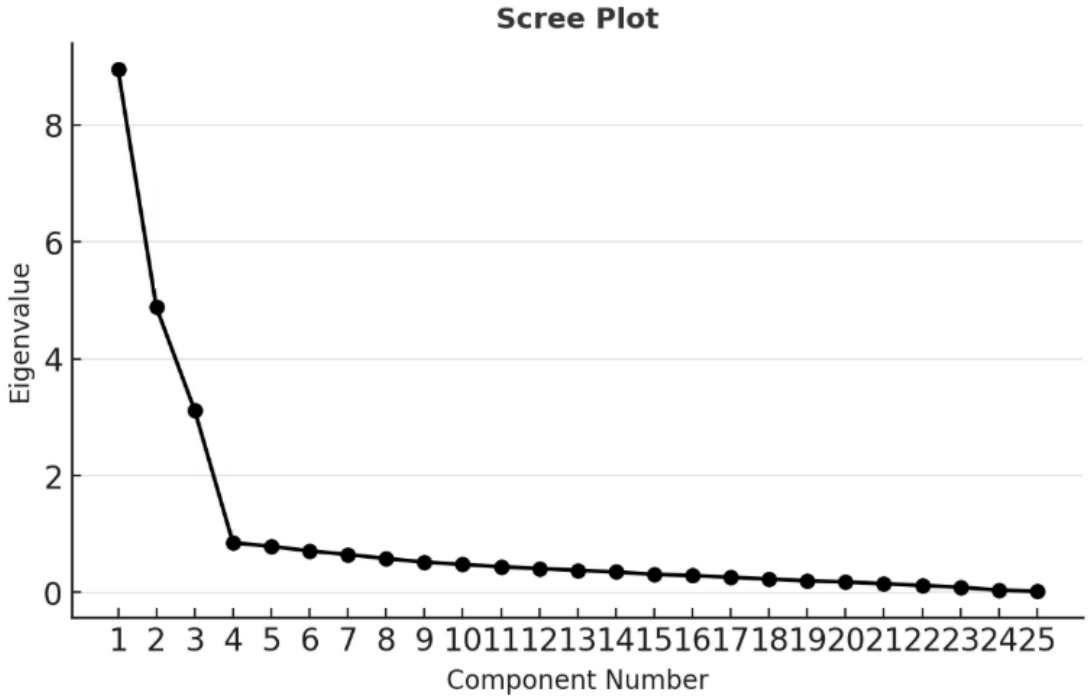
ب. اختبار بارتليت (Bartlett's Test): كانت نتيجته دالة إحصـائيًا (Sig. = 0.000) أقل من (0.05)، مما يؤكد وجود علاقات جوهرية مترابطة بين الفقرات تسمح بالتحليل العاملي.

2. اســتخلاص العوامل وتنقيتها (Factor Extraction and Purification): اســتُخْدِم تحليل المكونات الأســاســيّة (Principal Component Analysis - PCA)، لاســتخلاص العوامل، وذلك بهدف تحديد البُنية الكامنة للأداة واختزال البيانات.

أُجْرِيَ التحليل على جميع فقرات الاستبانة في صورتها الأوليّة. ثم أُتْبِعَت عملية تكرارية بعدّة معايير من أجل الوصول إلى بُنية عامليّة واضحة ومستقرّة، ولتحديد العدد الأمثل للعوامل، اعتُمِد معياران:

1. معيار كايزر (Kaiser's Criterion): الذي ينصُّ على اســـتبقاء العوامل التي تتجاوز جذورها الكامنة الأوليّة قيمة (1) صحيح، أي (الجذر الكامن>1).

2. معيار ومحك التبعثر الرُكامي (Scree Plot): والذي يوفر تمثيلًا بصـــريًا للجذور الكامنة، ويُعتمد في تحليل عدد العوامل من خلال ملاحظة نقطة تغير الانحدار الحاد في الرســـم ("نقطة الكوع"). ويوضح الشكل (3) الرسم البياني للعوامل المستخلصة.



الشكل (3): *الرسم البياني (scree plot) للجذور الكامنة للعوامل المستخلصة قبل التدوير*

يتضـح من الشـكل (3) وجود انحدار حاد للخط البياني يسـتمر حتى العامل الثالث، حيث تظهر نقطة الانكسـار (الكوع) عند العامل الرابع الذي انخفضـت قيمته الكامنة عن (1) صـحيح. وبما أن الانكسار الحاد انتهى عند العامل الثالث، وبدأ تسطّح المنحنى عند العامل الرابع، فإن ذلك يُشير إلى أن العوامل الجوهريّة تقتصـــر على العوامل (1، 2، 3) فقط، مما يؤكد أن الحل المكون من ثلاثة عوامل هو الأنسـب لتفسـير البيانات. وبناءً على تطابق نتائج معياري كايزر والرسـم البيانيّ، اعتُمِد الحل الثلاثيّ العوامل للمضي في التحليل.

بعد ذلك، فُحِصَت تشبعات الفقرات في الأداة، ونُقِّيَت بحذف فقرتين بناءً على معيارين:

1. قيمة الشيوع (Communality) لكل فقرة: وهو المؤشر الذي يوضـح مقدار التباين في كل فقرة الذي فَسَّـرته العوامل المسـتخلصـة. اعتُمِد الحد الأدنى المقبول وهو (0.40)؛ حيث تُعتبر الفقرة التي تقل قيمة الشيوع لها عن هذا الحد ضعيفة الارتباط بالبُنية العامليّة للأداة.
2. وضـوح التشـبعات (Loading Clarity): لضـمان أن كل فقرة تنتمي بوضـوح إلى عامل واحد فقط، اسـتُبْعِدَت الفقرات التي أظهرت تشـبعات متقاطعة (Cross-loadings) مُرتفعة ومتقاربة على أكثر من عامل، وذلك بهدف وضوح البناء وحتى لا يسبب غموض في تفسير العوامل.

بناءً على ما سبق، نُقِّيَت ودُعِّمَت بُنية التحليل العامليّ للأداة بحذف فقرتين لم تستوفيا معايير الجودة الإحصـــائية (ازدواجيّة الانتماء على محورين في نفس الوقت، مما أدى لوجود تشـــبعات متقاطعة مرتفعة)، مما أدى إلى تحســـين وضـــوح واســـتقرار النموذج العاملي. وبعد التأكد من اقتصـار النموذج على الفقرات ذات الجودة العالية، انتقلت الباحثة إلى الخطوة التالية المتمثلة في تدوير العوامل للوصول إلى بُنية بسيطة وقابلة للتفسير.

ويوضح الجدول (2.3) الجذر الكامن ونسبة التباين التي يفسرها كل عامل من العوامل الثلاثة التي تم الإبقاء عليها.

جدول (2.3): *الجذر الكامن ونسب التباين المفسّرة للعوامل المستخلصة من نتائج التحليل العاملي*

العامل	الجذر الكامن	نسبة التباين	
		المفسّرة	التراكميّة
الأول	8.95	35.80	35.80
الثاني	4.88	19.52	55.32
الثالث	3.12	12.48	67.8

4. تدوير العوامل وتفسيرها (Factor Rotation & Interpretation): استُخْدِمَت طريقة تدوير المحاور المائلة (Direct Oblimin)، من أجل التوصل إلى بُنية عامليّة نهائيّة مُستقرّة واضحة ومثاليّة للأداة. وقد وقد اخْتِير هذا النوع من التدوير لوجود أساس نظري يُفترض أن محاور الدراسة (واقع التوظيف، التحديات، والآثار المتوقعة) مترابطة وليست مستقلة تمامًا. إذ استقرت الأداة في صورتها النهائيّة على (25) فقرة موزعة على ثلاثة عوامل رئيسية. فسرت هذه العوامل الثلاثة معًا ما نسبته (67.80%) من التباين الكُليّ في استجابات العينة، وهي نسبة تفسير قويّة جدًا. وقد تطابقت العوامل المستخلصة مع الإطار النظري للدراسة، وتوزعت هذه على النحو التالي:

العامل الأول: الآثار المترتبة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة (8 فقرات).

العامل الثاني: تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة (10 فقرات).

العامل الثالث: واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة (7 فقرات).

5. البُنية النهائية وتشعبات الفقرات (Final Structure and Loadings): فُحِصَت مصفوفة ارتباط العوامل (Factor Correlation Matrix) التي أظهرت وجود ارتباطات موجبة متوسطة (بين 0.35 و0.45) بين العوامل الثلاثة، مما أكد صحة قرار استخدام التدوير المائل وأثبت أن المحاور الثلاثة

مترابطة، ولكنها متمايزة ومستقلة بما يكفي لتشكيل ثلاثة أبعاد مختلفة للأداة. ويوضح الجدول (3.3) التشبعات النهائية للفقرات على العوامل الثلاثة بعد التدوير.

الجدول (3.3): *مصـــفوفة العوامل بعد التدوير المائل وتشـــعبات الفقرات على العوامل الثلاثة المستخلصة*

الفقرة	العامل الأول–الآثار المتوقعة	العامل الثاني–التحديات	العامل الثالث–واقع التوظيف
Q21	0.890		
Q22	0.885		
Q23	0.879		
Q24	0.862		
Q26	0.858		
Q25	0.820		
Q27	0.795		
Q10		0.865	
Q11		0.859	
Q12		0.844	
Q13		0.835	
Q14		0.810	
Q15		0.805	
Q18		0.770	
Q16		0.755	
Q19		0.740	
Q20		0.695	
Q01			0.838
Q02			0.810
Q03			0.799
Q09			0.785
Q05			0.770
Q06			0.755
Q07			0.720
Q08			0.650

يتضــح من الجدول (3.3) أن جميع الفقرات قد تشــبعت على عامل واحد فقط؛ حيث فاقت جميع التشــبعات الحد الأدنى المقبول وهو (0.40)، مع عدم وجود تشــبعات متقاطعة مُربكة ومموهة، مما يدل على بنية عامليّة بسيطة وواضحة.

وبذلك أثبتت نتائج التحليل العاملي الاستكشافي أن للاستبانة بُنية عامليّة واضحة مستقرّة، مما يوفر دليلًا قويًا على تمتُعها بدرجة عالية من الصدق البنائي.

ثانيًا: صدق الاتساق الداخليّ (Internal Consistency Validity)

بعد أن أثبت التحليل العاملي الاستكشافي البُنية الأساسيّة للأداة سليمة، استُخْدِم تحليل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Analysis) كدليل إضافي مباشر على صدق البناء؛ حيث حُسِبَت معاملات الارتباط للحُكم على قوة الارتباط بين كل فقرة والبُعد الذي تنتمي إليه كما هو مُبين في جدول (4.3). وقد اعتُمِد على معيار قبول الفقرة حسب ما جاء به جارسيا(Garcia, 2011)؛ حيث تعتبر قيمة معامل الارتباط التي تقل عن (0.30) ضعيفة، والقيم التي تقع ضمن المدى (0.30 – أقل أو يساوي 0.70) متوسطة، والقيم التي تزيد عن (0.70) قوية.

ويوضــح الجدول (4.3) قيم معاملات ارتباط بيرسـون لكل فقرة بالمحور الذي تنتمي إليه، وكذلك ارتباطها بالدرجة الكلية للمقياس.

الجدول (4.3): *قيم معاملات ارتباط بيرسون لكل فقرة بالمحور الأول: واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة الذي تنتمي إليه، وكذلك ارتباطها بالدرجة الكلية للمقياس.*

رقم الفقرة	الفقرة	معامل الارتباط بالمجال	معامل الارتباط بالمقياس الكليّ
1	يتزايد استخدام المختبرات الافتراضيّة في المؤسسات التعليمية لتعليم PLC حاليًا.	**.685	**.654
2	المحتوى التعليمي المتوفر في المختبرات الافتراضيّة الحالية يغطي الجوانب الأساسية لبرمجة الـ PLC.	**.751	**.710
3	المختبرات الافتراضيّة المتاحة حاليًا تحاكي الأنظمة الصناعية الواقعية بكفاءة عالية.	**.711	**.692
4	جودة المحتوى التعليمي والتفاعليّ في برمجيات المختبرات الافتراضيّة المُتاحة حاليًا تلبي توقعات أعضاء هيئة التدريس.	**.733	**.705
5	تُوَفِّر المؤسسات التعليمية الدعم الفني والتقني اللازم لتشغيل المختبرات الافتراضيّة لتعليم PLC بفعالية.	**.640	**.618
6	يمتلك أعضاء هيئة التدريس والمدربون المهارات الكافية لدمج المختبرات الافتراضيّة في المقررات الدراسية.	**.612	**.589
7	المختبرات الافتراضيّة تُستخدم حاليًا كأداة مكملة للمختبرات التقليدية وليست بديلًا عنها.	**.588	**.544
8	يُقَيَّم أداء الطلبة في المختبرات الافتراضيّة حاليًا باستخدام أدوات تقويم متنوعة (مثل: محاكاة خطوط إنتاج مع تقديم تقرير).	**.669	**.637

الجدول (5.3): *قيم معاملات ارتباط بيرســون لكل فقرة بالمحور الثاني: تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة الذي تنتمي إليه، وكذلك ارتباطها بالدرجة الكلية للمقياس.*

رقم الفقرة	الفقرة	معامل الارتباط بالمجال	معامل الارتباط بالمقياس الكليّ
9	التكلفة العالية لتراخيص برامج المختبرات الافتراضيّة المتطورة.	**.744	**.701
10	الحاجة إلى أجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية لتشغيل برامج المحاكاة بكفاءة.	**.782	**.753
11	صعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية والميكانيكية (Hardware Faults) بشكل واقعي.	**.688	**.649
12	ضعف البنية التحتية لشبكة الإنترنت في بعض المؤسسات يعوق الوصول السلس للمختبرات.	**.621	**.590
13	قلة تدريب أعضاء هيئة التدريس والمدربين على كيفية تصميم تجارب تعليمية فعّالة باستخدام المختبرات الافتراضيّة.	**.805	**.781
14	صعوبة تقويم المهارات العملية والحسية (Hands-on Skills) للطلاب بشكل دقيق عن بعد.	**.759	**.724
15	ضعف دافعية بعض الطلاب للتفاعل مع بيئات التعلُّم الافتراضيّة مقارنة بالتجارب العملية الملموسة.	**.607	**.575
16	مقاومة التغيير من قبل بعض أعضاء هيئة التدريس المعتادين على الطرق التقليدية.	**.655	**.630
17	غياب الدعم الإداري والمؤسسي الكافي لتوفير الموارد اللازمة وتبني هذه التقنيات.	**.791	**.766
18	عدم وجود معايير واضحة لتقويم جودة برمجيات المختبرات الافتراضيّة واختيار الأنسب منها.	**.816	**.790

الجدول (6.3): *قيم معاملات ارتباط بيرسون لكل فقرة بالمحور الثالث: الآثار المستقبليّة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة الذي تنتمي إليه، وكذلك ارتباطها بالدرجة الكلية للمقياس.*

رقم الفقرة	الفقرة	معامل الارتباط بالمجال	معامل الارتباط بالمقياس الكليّ
19	تساهم في تعميق فهم الطلاب للمفاهيم النظرية من خلال التطبيق والمشاهدة الفورية للنتائج.	.844**	.813**
20	تزيد من فرص وصول الطلاب للتعلم في أي وقت ومن أي مكان (التعلم المرن).	.817**	.788**
21	توفر بيئة تعليميّة آمنة تتيح تجربة سيناريوهات معقدة أو خطرة دون أي أخطار حقيقية.	.865**	.840**
22	تطور لدى الطلاب مهارات حل المشكلات والتفكير النقدي من خلال محاكاة أعطال النظام.	.859**	.831**
23	تتيح تنفيذ تجارب لا يُمكن إجراؤها في المختبرات التقليدية بسبب التكلفة أو الخطورة.	.770**	.742**
24	تساهم في تقليل التكاليف التشغيلية للمختبرات (صيانة، استهلاك، تحديث الأجهزة المادية).	.721**	.695**
25	تساهم في سد الفجوة بين التعليم الأكاديمي ومتطلبات سوق العمل الصناعي الحديث.	.803**	.794**

** دالة إحصائيًا عند مستوى الدلالة (0.01)

أوضحت النتائج أنَّ جميع قيم معاملات ارتباط الفقرات ذات درجة مقبولة ودالة إحصائيًا عند مستوى (0.01) وجميعها موجبة؛ إذ تراوحت قيم معاملات ارتباط جميع الفقرات بالمجال الذي تنتمي إليه ما بين (0.588 – 0.865). وأيضًا جميع قيم معاملات ارتباط الفقرات بالمقياس ككل تراوحت قيمتها ما بين (0.544 – 0.840). وبناءً على المعيار المُعتمد فإن جميع الفقرات أظهرت ارتباطات متوسطة إلى

قوية، وتجاوز الكثير منها القيمة (0.70)، وهذا يؤكد على أن كل فقرة هي جزء متســـق ومترابط من محورها.

ولدراسة العلاقات بين مكونات الاستبانة، حُسِبَت مصفوفة ارتباط بيرسون بين الدرجات الكُلية للمحاور الثلاثة والدرجة الكُلية للاستبانة كما يُبين جدول (7.3).

جدول (7.3): *مصفوفة معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد الاستبانة والدرجة الكليّة*

	1. واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة.	**2. تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة.**	**3. الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة**	**4. الدرجة الكليّة للأداة.**
1. واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة.	–	**.450	**.410	**.845
2. تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة.	**.450	–	**.355	**.812
3. الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة	**.410	**.355	–	**.879
4. الدرجة الكليّة للأداة.	**.845	**.812	**.879	–

** دالة إحصائيًا عند مستوى الدلالة (0.01)

يتضح من الجدول (7.3) وجود علاقات إيجابية ودالة إحصائيا عند مستوى دلالة (0.01) بين جميع أبعاد الاستبانة مما يدلل على صدق البناء للأداة.

2.1.3.3 ثبات الاستبانة (Reliability of the Questionnaire)

جرى التحقق من ثبات الاتساق الداخلي (Internal Consistency Reliability) لفقرات الاستبانة، وذلك للتأكد من موثوقية الاستبانة ومدى تجانس فقرات الاستبانة، من خلال حساب معامل (كرونباخ ألفا) (Cronbach Alpha) لجميع فقرات الاســـتبانة ولكل محور من محاورها على حدة، والجدول (8.3) يبين ذلك:

جدول (8.3): *قيم معامل ثبات كرونباخ ألفا لأبعاد الاستبانة وللأداة ككل*

الأداة	البعد	عدد الفقرات	معامل كرونباخ ألفا
الاستبانة الإلكترونيّة	واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة	8	0.885
	تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة	10	0.912
	الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة	7	0.925
الدرجة الكليّة		25	0.958

تُبيّن النتائج الموضحة في الجدول (8.3) أن قيم معاملات الثبات كانت مرتفعة جدًا؛ إذ تراوحت معاملات الثبات للمحاور الفرعية بين (0.885) و(0.925)، في حين بلغ معامل الثبات للأداة ككل (0.958). وتتجاوز هذه القيم بوضوح الحد الأدنى المقبول إحصائيًا والبالغ (0.70) وفقًا لمقياس(Hair et al., 2010)؛ مما يُشير إلى تمتع الأداة بدرجة ثبات عالية جدًا، ويُعزز الثقة في دقة النتائج المستخلصة منها، ويؤكد صلاحية الاستبانة وموثوقيتها للتطبيق الميداني في الدراسة الرئيسيّة، كما هو موضح في ملحق(ح).

2.3.3 الأداة النوعيّة: المقابلة شبه المنظمة (Semi-Structured Interview)

1.2.3.3 تصميم دليل المقابلة ومساراتها

بهدف تعميق فهم النتائج الكميّة وتفسيرها، صُمِّمَت المقابلات شبه المنظمّة كأداة لجمع البيانات النوعيّة. صُممت هذه الأداة لاستنباط رؤى تفصيلية وعميقة حول الأسباب الكامنة وراء التحديات، والتصورات العملية للآثار المتوقعة، وتقديم أمثلة واقعية من خبرات المشاركين. كما اتصفت هذه المقابلة بالمرونة خاصة أن المقابلات قد تمت بشكل وجاهي، مما سمح للباحثة بطرح أسئلة استيضاحيه والمتابعة بناءً على استجابات المشاركين. وقد تميّز تصميم "دليل للمقابلة"، بالتكيّف مع طبيعة خبرة المشارك؛ حيث اشتمل على ثلاث مسارات مختلفة للأسئلة اشْتُقَت من محاور الدراسة

الأساسيّة. حيث صيغت جميع الأسئلة بأسلوب مفتوح بهدف الغوص في التجارب والتصورات الشخصيّة للخبراء، كما في مُلحق (ب) للاطلاع على دليل المقابلات قبل التحكيم. وفيما يلي توضيح لهيكل ومحتوى كل مسار:

المسار الأول: موجّه للخبراء من الأكاديميين الذين استخدموا المختبرات الافتراضيّة بالفعل؛ حيث ركّز هذا المسار على استكشاف التجربة العملية من خلال أربعة محاور رئيسيّة وهي:

1. المحور الأول: تشخيص الواقع الحالي لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة والتجربة (ثلاثة أسئلة)؛ بهدف فهم الفروقات بين التدريس التقليدي والافتراضيّ.

2. المحور الثاني: الغوص في جذور تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة (أربعة أسئلة)؛ بهدف تحديد "عنق الزجاجة" الحقيقيّ الذي يواجه التطبيق.

3. المحور الثالث: استشراف الآثار المهارية والمستقبليّة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة (ثلاثة أسئلة)، بهدف تقويم المهارات المكتسبة وجودة المخرجات التعليميّة.

4. المحور الرابع: تقديم توصيات عمليّة وخاتمة (أربعة أسئلة)؛ بهدف الحصول على نصائح حول أفضل البرمجيات واستراتيجيات التبني في المستقبل.

المسار الثاني: موجّه للخبراء من الأكاديميين الذين لم يسبق لهم استخدام المختبرات الافتراضيّة؛ حيث يهدف هذا المسار إلى فهم التصورات والعوائق من وجهة نظرهم، وتناول ثلاثة محاور رئيسيّة:

1. المحور الأول: استكشاف الانطباعات الأوليّة أسباب عدم التبني المؤسسيّ (ثلاثة أسئلة)؛ بهدف تحديد التصورات، والحواجز المؤسسيّة والتحفظات التربويّة.

2. المحور الثاني: تقويم الفوائد والمخاطر المُتصـــورة (ثلاثة أســئلة)؛ لاســتطلاع الفوائد والمخاطر المتصورة من وجهة نظرهم.

3. المحور الثالث: استشراف المستقبل وتقديم التوصيات (خمسة أسئلة)؛ بهدف معرفة شروطهم للتبني مستقبًلا.

المسار الثالث: صنّاع القرار (الإداريون)

يهدف هذا المســار إلى اســتثمار خبرتهم العميقة لفهم التصــورات الأوليّة، والانطباعات المبدئيّة حول هذه التقنيّة، واستشراف دورها المحتمل في المشهد التعليميّ من وجهة نظرهم كخبراء وصناع قرار، وتناول ثلاثة محاور رئيسيّة:

1. المحور الأول: استكشاف أسباب التبني المؤسسيّ (أربعة أسئلة).
2. المحور الثاني: تقويم الفكرة من منظور إداريّ (ثلاثة أسئلة).
3. المحور الثالث: استشراف المستقبل واتخاذ القرار (خمسة أسئلة).

وللاطلاع على قائمة الأسئلة الكاملة لهذه المسارات الثلاثة، انظر مُلحق (ث).

2.2.3.3 موثوقيّة الأداة النوعيّة (Trustworthiness of the Qualitative Tool)

لضـــمان جودة وموثوقيّة البيانات النوعيّة التي جُمِعَت عبر المقابلات، اتبعت الباحثة معايير الموثوقيّة (Trustworthiness Criteria) التي تُعد المعيار الذهبي في البحث النوعيّ، وفق النموذج الذي أرسى دعائمه رواد مثل جوبا ولينكون(Guba & Lincoln, 1985)، ويتضمن هذا الإطار أربعة معايير رئيسيّة طُبِّقَت استنادًا إلى الممارسات الحديثة في المجال(Kakar et al., 2023)، وذلك على النحو الآتي:

1. المصداقيّة (Credibility): للتأكد من أن النتائج تعكس بدقة آراء المشاركين وتفسيراتهم، بمعنى: هل النتائج صحيحة؟ ← (كمي: صدق داخلي) = (نوعيّ: مصداقيّة) عُرِض دليل المقابلة على (5) من الخبراء في المجال للتحكيم، بهدف ضمان وضوح الأسئلة وقدرتها على تحقيق أهداف الدراسة. كما طُبِّق أسلوب 'التحقق من قبل المشاركين' (Member Checking) على عينة مختارة منهم بعد إتمام المقابلات وتفريغها؛ حيث عُرض عليهم ملخص لأهم النتائج التي وردت في مقابلاتهم، للتأكد من دقة تفسير الباحثة لأقوالهم، بالإضافة إلى 'تثليث البيانات' (Data Triangulation) أي توثيق كيف تقاطعت البيانات الكميّة والنوعيّة والتأكد من تقارب النتائج من مصادر مختلفة. وللتحقق من مصداقيّة الأداة النوعيّة في الدراسة الحالية. انظر مُلحق (ش).
2. قابلية النقل (Transferability): لتمكين القارئ من تقويم مدى إمكانية تطبيق نتائج الدراسة على سياقات أو مجموعات أخرى مشابهة، بمعنى: هل يمكن تطبيقها في مكان آخر؟ ← (كمي: صدق خارجي/تعميم) = (نوعيّ: قابلية النقل). ولتحقيق ذلك، قدمت الباحثة "وصفًا غنيًّا ومفصلًا (Thick Description) لسياق الدراسة وخصائص المشاركين، وإجراءات جمع البيانات وتحليلها. وللتحقق من قابليّة النقل في الأداة النوعيّة في الدراسة الحالية. انظر مُلحق (ص).
3. الاعتمادية (Dependability): لضمان اتساق واستقرار عمليّة البحث، بمعنى هل يمكن تكرار الدراسة؟ ← (كمي: ثبات) = (نوعيّ: اعتمادية). ولتحقيق ذلك، أُنْشِئ "مسار مراجعة" (Audit Trail) من خلال التوثيق المفصّل لجميع الإجراءات، بدءًا من كيفية اختيار عينة المقابلات، مرورًا بتفريغ البيانات، وانتهاءً بخطوات تحليلها وتصنيفها، مما يسمح بتتبع مسار البحث منطقيًا. وللتحقق من اعتماديّة الأداة النوعيّة في الدراسة الحالية. انظر مُلحق (ض).
4. قابلية التأكيد (Confirmability): لضمان موضوعيّة النتائج، وارتباطها بالبيانات الأصليّة، هل النتائج حيادية؟ ← (كمي: موضوعيّة) = (نوعيّ: قابلية التأكيد). ولتحقيق ذلك، اعتمدت الباحثة

على سـجل التدقيق "مسـار المراجعة" (Audit Trail) كدليل يربط بشـكل واضـح بين النتائج المستخلصـة والبيانات الأصـليّة التي قدمها المشـاركون، مما يُعزز حيادية الدراسـة. وللتحقق من قابليّة التأكيد الأداة النوعيّة في الدراسة الحالية، انظر مُلحق (ط).

وقد استندت هذه الإجراءات إلى الممارسات المُثلى الموثقة في أدبيات البحث النوعيّ التي تشرح هذه المعايير وتطبيقاتها بالتفصيل(Kakar et al., 2023).

4.3 متغيرات الدراسة

من خلال مشكلة الدراسة، تناولت الدراسة المتغيرات الآتية، وهي:

المتغيرات المستقلة (Independent Variables):

1. طبيعة العمل: أكاديميّ، إداريّ.
2. سنوات الخبرة السابقة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة: أقل من 5 سنوات، من 5 إلى 10 سنوات، أكثر من 10 سنوات.

متغير تابع (Dependent Variable):

الواقع والتحديات والآثار المستقبليّة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة.

5.3 أخلاقيات الدراسة

- الموافقة الواعيّة (Informed consent): وُضِّحَت أهداف الدراسة وطبيعتها لجميع المشاركين في مُقدمة الاستبانة وفي بداية كل مقابلة، وأُكِّد على أن المشاركة طوعيّة تمامًا. حصلت الباحثة على موافقة شفهيّة من المشاركين قبل البدء بتسجيل المقابلات، مع توضيح الغرض من التسجيل وهو لغايات تدوين الملاحظات والتحليل الدقيق لاحقًا.

- السـريّة وإخفاء الهويّة (Confidentiality and Anonymity): أُكِّد لجميع المشـاركين على أن بياناتهم الشخصيّة واستجاباتهم ستُعامل بسريّة تامّة ومُطلقة. ولتحقيق ذلك، عُرِضَت النتائج الكميّة كبيانات مُجمعة، كما أُخْفِيَت هويّة المشاركين في المقابلات عند استخدامهم اقتباسات من خلال نظام الترميز بالحرف الأول من اسم الخبير والحرف الأول من عائلته.
- تحديد الغرض (Purpose Limitation): أُعْلِم المُشـــاركون بأن البيانات التي يتم جمعها لن تُستخدم إلا لأغراض إتمام متطلبات رسالة الماجستير الحاليّة فقط، والورقة البحثيّة المُستلّة منها.
- أمن البيانات (Data Security): حُفِظت جميع البيانات الخام (اســـتجابات الاســـتبانات، والمقابلات المُسجلة) بشكل آمن لدى الباحثة لضمان عدم اطلاع أي طرف غير مُصرّح له عليها، لحين الانتهاء من إجراءات الرسالة ومناقشتها.

6.3 إجراءات تنفيذ الدّراسة

نُفِّذَت الدراسة وفق الخطوات المنهجية المتكاملة التالية:

1. تحديد المشكلة البحثيّة الأوليّة بناءً على الملاحظة ومراجعة الأدبيات والدراسات السابقة.
2. صياغة مشكلة الدراسة، وأسئلتها البحثية، وأهدافها، وفرضياتها.
3. تصـميم منهجيّة الدراسـة (المنهج المختلط)، وتحديد مجتمع الدراسـة وعيناتها القصـدية المسـتهدفة (العينة الاســتطلاعية، عيّنة الخبراء للمقابلات، وعيّنة الخبراء للاســتبانة)، لمزيد من الوصـــف للسياق وللمشاركين، انظر مُلحق (ص).
4. الحصول على الموافقات الرسميّة وتسهيل مهمة الباحثة، انظر مُلحق (خ).
5. بناء أداة الدراسة النوعيّة (المقابلة)، وتحكيمها من قبل المتخصصين.

6. تفعيل "سجل تدقيق الإجراءات" (Audit Trail) لجميع مراحل البحث زمنيًا، لضمان تحقيق معيار "الاعتمادية" (Dependability)، انظر مُلحق (ض).
7. إجراء المقابلات الوجاهيّة والفرديّة المعمّقة مع عيّنة الخبراء الأكاديميين، والإداريين.
8. تفريغ بيانات المقابلات وتحليلها نوعيًا بشكل أوليّ وفق منهجيّة استقرائية، لاستخلاص المحاور والموضوعات الرئيسيّة، مع توثيق مسار تطور الرموز ونفي التحيُّز، انظر مُلحق (ط).
9. التحقق من مصداقية النتائج الأوليّة وتفسيراتها، من خلال عرضها مجددًا على عينة من الخبراء، للتأكد من دقة التفسيرات، واعتماد النسخة النهائيّة من النتائج بناءً على ملاحظاتهم، انظر مُلحق (ش).
10. بناء الصورة الأوليّة للاستبانة استنادًا إلى نتائج التحليل النوعيّ للمقابلات والأدبيات السابقة.
11. التحقق من (الصدق الظاهري، وصدق البناء) والثبات للاستبانة الأوليّة.
12. تطبيق الاستبانة في صورتها النهائيّة مُلحق (د) على عيّنة الدراسة المستهدفة من الخبراء؛ حيث تمت تعبئة الاستبانة بشكل مباشر بحضور الباحثة، وجمع البيانات.
13. إدخال البيانات وتحليلها إحصائيًا للإجابة عن أسئلة البحث واختبار الفرضيات.
14. عرض النتائج الكميّة والنوعيّة، ودمجها وتفسيرها في فصل مناقشة النتائج باستخدام استراتيجية "تثليث البيانات" لتعزيز المصداقية، انظر مُلحق (ش).
15. تقديم التوصيات.

7.3 المعالجات الإحصائية

لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن أسئلتها، حُلِّلَت البيانات التي جُمِعَت من خلال عينة الدراسة، وذلك باستخدام الأساليب الإحصائية الملائمة لطبيعة الدراسة، واسْتُخْدِمَت في الدراسة مجموعة من الأساليب الإحصائيّة المناسبة، وفقًا لما يأتي:

تحليل البيانات الكميّة: استخدام برنامج الحزمة الإحصائيّة للعلوم الاجتماعيّة (SPSS, Version [27])؛ حيث وُظِّفَت الأساليب الإحصائية التالية:

1. الإحصاءات الوصفيّة (Descriptive Statistics): لوصف خصائص عينة الدراسة، وذلك من خلال:

- التكرارات (Frequencies) والنسبة المئويّة (Percentages): لوصف الخصائص الديموغرافيّة لعينة الدراسة.
- المتوسط الحسابيّ والانحراف المعياريّ: لتحليل البيانات والإجابة عن أسئلة الدراسة الأربعة، وقد حُسِبَ المتوسط الحسابيّ (Mean) من مقاييس النزعة المركزية (Measures of Central Tendency)، وكذلك الانحراف المعياريّ (Standard Deviation) من مقاييس التشتت (Measures of Dispersion)، لاستجابات أفراد العينة على كل فقرة، وعلى كل محور من محاور الاستبانة، وكذلك للأداة ككل، وذلك بهدف تحديد مستوى كلٍّ من درجة الواقع الحالي، والتحديات القائمة، والآثار المتوقعة بناءً على آراء الخبراء المشاركين في الدراسة.

ب. الإحصاء الاستدلالي (Inferential Statistics): لاختبار فرضيات الدراسة، والكشف عن دلالة الفروق الإحصائيّة في استجابات أفراد العينة تبعًا لمتغيراتهم المختلفة، وذلك من خلال:

- اختبار "ت" لعينتين مُستقلتين (Independent Samples T-test): استُخْدِم للكشف عما إذا كانت هناك فروق ذات دلالة إحصائية (عند مستوى دلالة $\alpha = 0.05$) في متوسطات استجابات أفراد عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تُعزى لمتغير طبيعة العمل (أكاديمي–إداري).
- اختبار "تحليل التباين الأحاديّ" (One-Way ANOVA): استُخْدِم للكشف عما إذا كانت هناك فروق ذات دلالة إحصائية (عند مستوى دلالة $\alpha = 0.05$) في متوسطات استجابات أفراد عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تُعزى لمتغير سنوات الخبرة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (أقل من 5 سنوات، من 5–10 سنوات، أكثر من 10 سنوات).

تحليل البيانات النوعيّة: حُلِّلَت البيانات التي جُمعت من المقابلات باستخدام منهجيّة تحليل المحتوى (Content Analysis)؛ حيث ضمنت تحويلًا منظمًا للبيانات الخام إلى نتائج تحليليّة عميقة للإجابة عن أسئلة الدراسة، وقد استُعِين ببرنامج التحليل النوعيّ (MAXQDA, Version [24])، وذلك عبر الخطوات التالية:

1. الترميز الأوليّ والاستقرائي (Initial and Inductive Coding): تمثل في عملية الترميز المفتوح (Open Coding)؛ وهي قراءة متعمقة للنصوص وتحديد الأفكار الأساسيّة وإنشاء رموز أوليّة لها تصف محتواها مباشرة، تميزت هذه المرحلة بالاستقراء؛ حيث انّبثقت الرموز من البيانات نفسها دون قوالب مسبقة.
2. بناء وتطوير نظام الترميز (Developing and Structuring the Code System): بعد مرحلة الترميز الأوليّ، نُظِّمَت الرموز في فئات فرعيّة وفئات (Categories) رئيسيّة (موضوعات) وهي

(الواقع، التحديات، الآثار المتوقعة). أدى ذلك إلى بناء هيكل ترميز شـــجري ومنطقي، مع كتابة (Themes) تعريفات إجرائيّة واضحة لكل رمز وفئة لضمان اتساق عمليّة التحليل.

3. الترميز المحوري والمركز (Axial and Focused Coding): بعد استقرار الهيكل الأساسيّ لنظام الترميز، انتقلت الباحثة إلى الترميز المحوريّ؛ حيث رُوجِعَت المقابلات مرة أخرى، وطُبِّقَ نظام الترميز المُطور عليها بشـــكل منهجيّ. ركزت هذه المرحلة على ربط الفئات ببعضـــها البعض وتطبيق الرموز على كافة البيانات لضمان تغطية شاملة ودقيقة.

4. التحليل المقارن والتكامل مع النتائج الكميّة (Comparative Analysis and Integration): أُجْرِيَ تحليل مقارن بين الموضـــوعات المســـتخلصـــة من مجموعتي الخبراء (المســـتخدمين وغير المســـتخدمين) لفهم أوجه التشـــابه والاختلاف. والأهم من ذلك، رُبِطَت الموضـــوعات النوعيّة بالنتائج الإحصـائيّة من برنامج (SPSS)، بهدف تقديم تفسير عميق وشـامل للظاهرة المدروسـة، والإجابة عن سؤال ماذا وراء الأرقام التي ظهرت في الاستبانة.

الفصل الرابع

عرض نتائج الدراسة

1.4 النتائج المتعلقة بأسئلة الدراسة

1.1.4 النتائج المُتعلقة بالسؤال الأول (الواقع)

1.1.1.4 النتائج الكميّة بالسؤال الأول

2.1.1.4 النتائج النوعيّة بالسؤال الأول

2.1.4 النتائج المتعلقة بالسؤال الثاني (التحديات)

1.2.1.4 النتائج الكميّة بالسؤال الثاني

2.2.1.4 النتائج النوعيّة بالسؤال الثاني

3.1.4 النتائج المُتعلقة بالسؤال الثالث (الآثار المتوقعة)

1.3.1.4 النتائج الكميّة بالسؤال الثالث

2.3.1.4 النتائج النوعيّة بالسؤال الثالث

4.1.4 النتائج المُتعلقة بالسؤال الرابع (التصوّر المقترح)

1.4.1.4 التوصيات التقنية واختيار البيئة الأنسب

2.4.1.4 ملامح التصوّر المقترح وهيكليته

3.4.1.4 الخطّة التنفيذيّة المفصّلة للتصوّر المُقترح

2.4 النتائج المتعلقة بفرضيات الدراسة

1.2.4 النتائج المتعلقة بالفرضيّة الأولى (مُتغير طبيعة العمل)

2.2.4 النتائج المتعلقة بالفرضيّة الثانية (متغير سنوات الخبرة السابقة)

الفصل الرابع

عرض نتائج الدراسة

يستعرض هذا الفصل النتائج التي توصلت إليها الدراسة بشقيها الكميّ والنوعيّ لغايات تفسير التكرارات في الجداول النوعيّة، والمتوسطات الحسابيّة الواردة في الجداول الكمية، ولغاية الحُكم على مستواها، حُوِّلَت هذه الدرجات بحيث تنحصر بين (1−5) درجات، اعتُمِد معيار محدد من خلال تقسيم مستوى الممارسة لها إلى خمسة مستويات متساوية، وذلك وفقًا للمعادلة الآتية:

$$\text{طول الفئة} = \frac{\left(\text{الحد الأعلى للتدرج} - \text{الحد الأدنى للتدرج}\right)}{\text{عدد المستويات المفترضة}} = \frac{(1-5)}{5} = \frac{4}{5} = 0.80$$

وبناءً على ذلك، فإن مستويات الحكم على المتوسطات الحسابيّة موضحة كما في الجدول (1.4).

الجدول (1.4): *توزيع فئات المقياس الخماسي لتفسير المتوسطات الحسابيّة*

المستوى	النطاق
منخفض جدًا	من 1.00 إلى 1.79
منخفض	من 1.80 إلى 2.59
متوسط	من 2.60 إلى 3.39
مرتفع	من 3.40 إلى 4.19
مرتفع جدًا	من 4.20 إلى 5.00

1.4 النتائج المتعلقة بأسئلة الدراسة

1.1.4 النتائج المُتعلقة بالسؤال الأول (الواقع)

1.1.1.4 النتائج الكميّة بالسؤال الأول: ما واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال؟

للإجابة عن السؤال الأول حُسِبَت المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة. يُوضح الجدول (2.4) التصور الكميّ لواقع التوظيف كما يراه الخبراء.

جدول (2.4): *المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة مرتبة تنازليًا*

الرقم	العبارة	المتوسط الحسابي (M)	الانحراف المعياري (SD)	الوزن النسبي (%)	درجة الموافقة
6	المختبرات الافتراضيّة تُستخدم حاليًا كأداة مكملة للمختبرات التقليدية وليست بديلًا عنها.	3.95	0.88	%79.0	مرتفعة
2	المحتوى التعليمي المتوفر في المختبرات الافتراضيّة الحالية يغطي الجوانب الأساسية لبرمجة الـ PLC.	3.68	1.05	%73.6	مرتفعة
1	يتزايد استخدام المختبرات الافتراضيّة في المؤسسات التعليمية لتعليم PLC حاليًا.	3.51	1.12	%70.2	مرتفعة
3	المختبرات الافتراضيّة المتاحة حاليًا تحاكي الأنظمة الصناعية الواقعية بكفاءة عالية.	3.35	0.99	%67.0	متوسطة
8	جودة المحتوى التعليمي والتفاعليّ في برمجيات المختبرات الافتراضيّة المُتاحة حاليًا تلبي توقعات أعضاء هيئة التدريس.	3.17	1.21	%63.4	متوسطة
7	يُقَيَّم أداء الطلبة في المختبرات الافتراضيّة حاليًا باستخدام أدوات تقويم متنوعة (مثل: محاكاة خطوط إنتاج مع تقديم تقرير).	2.98	1.09	%59.6	متوسطة
5	يمتلك أعضاء هيئة التدريس والمدربون المهارات الكافية لدمج المختبرات الافتراضيّة في المقررات الدراسية.	2.75	1.15	%55.0	متوسطة
4	تُوفِّر المؤسسات التعليمية الدعم الفني والتقني اللازم لتشغيل المختبرات الافتراضيّة بفعالية.	2.53	1.01	%50.6	منخفضة
	المتوسط العام للمحور	**3.24**	**0.81**	**%64.8**	**متوسطة**

تُشير بيانات الجدول (2.4) إلى أنَّ تصوّر الخبراء لواقع توظيف المختبرات الافتراضيّة كان بدرجة متوسطة بشكل عام؛ إذ بلغ المتوسط الحسابي الكلي للمحور (3.24) وانحراف معياري (0.81) وبوزن نسبي (64.8%). جاءت الفقرة (6) ونصها "المختبرات الافتراضيّة تُستخدم حاليًا كأداة مكملة للمختبرات التقليديّة وليست بديلًا عنها" في المرتبة الأولى بأعلى متوسط حسابي (3.95)

ودرجة موافقة "مُرتفعة". بينما جاءت الفقرة (4) ونصـــها "تُوَفِّر المؤســـســـات التعليميّة الدعم الفنيّ والتقنيّ اللازم لتشـــغيل المختبرات الافتراضـــيّة بفعاليّة" في المرتبة الأخيرة بأدنى متوســـط حســـابي (2.53) ودرجة موافقة "منخفضـة"، مما يُشير إلى وجود قصـور في هذا الجانب. ولتعميق فهمنا لهذا الواقع الكميّ، نستعرض الآن النتائج النوعيّة التي تُفسر هذه الأرقام من وجهة نظر الخبراء.

2.1.1.4 النتائج النوعيّة بالسؤال الأول: ما واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال؟

يُفصح التحليل التكراري للمقابلات عن أنَّ تصور "الواقع" يتكون من شقين متناقضين: شق إيجابي يتعلق بالإمكانات والمبادرات الفردية، وشـق سـلبي يتعلق بالبيئة المؤسـسـية الداعمة كما في الجدول (3.4) الآتي:

جدول (3.4): *تكرارات الترميزات النوعيّة المُتعلقة بـ"واقع التوظيف"*

رقم الترميز	الموضوع الرئيسي (الترميز)	الخبراء	عدد التكرارات
	الشق الإيجابي: الإمكانات والمبادرات الفرديّة		
1.1	الإمكانات المُتصورة	الأكاديميون غير المستخدمين	25
1.1	دافع شخصي / حاجة عمليّة	الأكاديميون المستخدمون	8
6.1	الدمج والتكامل (كفلسفة استخدام سائدة)	الأكاديميون المستخدمون	13
	الشق السلبي: البيئة المؤسسية الداعمة		
2.1	حواجز مؤسسية ومالية	الأكاديميون غير المستخدمين	25
3.3.1	ضعف الدعم المالي والإداري	الأكاديميون المستخدمون	6
2.3	دعم شـفهي وغير مُترجم على أرض الواقع (تشـجيع بدون تمكين)	الإداريون	3
2.4.1	غياب الرؤية طويلة الأمد	الإداريون	5

يتضـح من الجدول (3.4) أن تصـوّر الخبراء للواقع ينقسـم بوضـوح إلى شـقين متناقضـين: شـق إيجابيّ يُشـير إلى الإمكانات المُتصـورة والمبادرات الفرديّة، وشـق سـلبي يتمحور حول ضـعف البيئة المؤسسيّة الداعمة.

أولًا، في الشـــق الإيجابيّ (المبادرات الفرديّة والأرضـــيّة الخصـــبة): يتضـــح وجود وعي عالٍ بـ "الإمكانات المتصورة" (25 تكرارًا)، لدى الخبراء غير المُستخدمين، مما يُشكل أرضية خصبة للتبني. هذا التفاؤل ليس مجرد انطباع عابر، بل هو إدراك لقيمة تربويّة حقيقيّة، كما عبرت إحدى الخبيرات (أ.م.) بقولها: "انطباعي الأوليّ إيجابيّ للغاية، فالمختبر الافتراضـــيّ لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة يُمثل أداة بصـريّة قويّة جدًا قادرة على سـد فجوة كبيرة يُعاني منها الطلاب، وهي فجوة "التصـوّر". وقد تُرجم هذا الإدراك للإمكانات إلى ممارسـة فعليّة لدى المسـتخدمين، الذين يؤكدون أن دافعهم هو "دافع شخصي وحاجة عملية" (8 تكرارات) نابع من صميم التحديات اليوميّة في التدريس، وليس من خطة مؤسسيّة. يقول الخبير (ب.ز.) "الرحلة بدأت بشكل أساسـي من الحاجة العمليّة ... لم يكن توجهًا مؤسسيًا بقدر ما كان حلًا للمشكلات التي نواجهها على أرض الواقع"، وقد تبلورت هذه المبادرات الفرديّة لتصـل إلى فلسـفة اسـتخدام واضـحة تقوم على "الدمج والتكامل" (13 تكرارًا)، وهي الفلســفة الســائدة التي تحكم الواقع الحاليّ للتطبيق؛ حيث يؤكد الخبير (ع. ز.): "أنا أؤمن بأن هذه الأدوات يجب أن تكون داعمة ومكملة للمختبر الحقيقي، وليست بديلًا كاملًا عنه".

ثانيًا، في الشـق السـلبيّ (البيئة المؤسـسـيّة الداعمة): في المقابل، يظهر ضـعف البيئة المؤسـسـيّة كعائق رئيســي من وجهة نظر جميع الفئات. فغير المســتخدمين يواجهون "حواجز مؤســسـية ومالية" (25 تكرارًا) تمنعهم من البدء وذلك بتحويل تفاؤلهم إلى واقع؛ إذ يُشـير الخبير (ب. ع. ح.) بوضـوح إلى أن "السبب الأول والرئيسي هو حاجز التكلفة... وتوفيرها لعدد كبير من الطلاب يشكل عبئًا ماليًا كبيرًا". وحتى المسـتخدمون الفعليون، ورغم نجاح مبادراتهم، ما زالوا يُعانون من "ضـعف الدعم المالي والإداري" (6 تكرارات)؛ حيث تشـــير الخبيرة (ش. ع.) إلى "غياب الدعم المؤســـســـي المتكامل... ونقص الدعم الإداري الكافي لتوفير الموارد". ويكشُفُ الإداريون أنفسهم عن جذر هذه المشكلة؛ حيث يصف م. خ. الوضع بدقة قائلًا: "يُمكن وصف الوضع بأنه تشجيع بدون تمكين". هذا التشجيع بدون

تمكين ينبع حسب رأيهم من تقديم "دعم شفهي وغير فعال" (3 تكرارات)، ومن "غياب الرؤية طويلة الأمد" (5 تكرارات) لدى القيادات العُليا، الأمر الذي يجعل "القرارات تتخذ بردود أفعال قصيرة المدى بدلًا من التخطيط للمستقبل" الخبير (م. ح.)، وهو ما يجعل أي استثمار في هذه التقنيات يُنظر إليه كتكلفة إضافيّة بدلًا من كونه استثمارًا استراتيجيًا. وللاطلاع على تحليل لبعض آراء كل فئة من فئات الخبراء، والذي يتضمن الاقتباسات الدالة والتوضيحات المنهجيّة، يُرجى مراجعة الملاحق ر، ز، س.

2.1.4 النتائج المُتعلقة بالسؤال الثاني (التحديات)

1.2.1.4 النتائج الكميّة بالسؤال الثاني: ما تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال؟

للإجابة عن السؤال الثاني حُسِبَت المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور التحديات التي تواجه توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة. يُوضح الجدول (4.4) التصور الكميّ للتحديات التي تواجه التوظيف كما يراه الخبراء.

جدول (4.4): *المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة مرتبة تنازليًا*

الرقم	العبارة	المتوسط الحسابي (M)	الانحراف المعياري (SD)	الوزن النسبي %	درجة التحدّي
9	التكلفة العالية لتراخيص برامج المختبرات الافتراضيّة المتطورة.	4.55	0.71	%91.0	كبير جدًا
10	الحاجة إلى أجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية لتشغيل برامج المحاكاة بكفاءة.	4.38	0.82	%87.6	كبير جدًا
11	صعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية والميكانيكية (Hardware Faults) بشكل واقعي.	4.21	0.95	%84.2	كبير جدًا
13	قلة تدريب أعضاء هيئة التدريس والمدربين على كيفية تصميم تجارب تعليمية فعّالة باستخدام المختبرات الافتراضيّة.	4.15	1.01	%83.0	كبير

17	غياب الدعم الإداري والمؤسسي الكافي لتوفير الموارد اللازمة وتبني هذه التقنيات.	4.05	1.10	%81.0	كبير
14	صعوبة تقويم المهارات العملية والحسية (Hands-on Skills) للطلاب بشكل دقيق عن بعد.	3.88	1.07	%77.6	كبير
18	عدم وجود معايير واضحة لتقويم جودة برمجيات المختبرات الافتراضيّة واختيار الأنسب منها.	3.72	1.13	%74.4	كبير
15	مقاومة التغيير من قبل بعض أعضاء هيئة التدريس المعتادين على الطرق التقليدية.	3.53	1.18	%70.6	كبير
12	ضعف البنية التحتية لشبكة الإنترنت في بعض المؤسسات يعوق الوصول السلس للمختبرات.	3.31	1.25	%66.2	متوسط
16	ضعف دافعية بعض الطلاب للتفاعل مع بيئات التعلُّم الافتراضيّة مقارنة بالتجارب العملية الملموسة.	3.10	1.22	%62.0	متوسط
	المتوسط العام للمحور	**3.89**	**0.75**	**%77.8**	**كبير**

يتضح من الجدول (4.4) أن الخبراء يرون أن التحديات التي تواجه توظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة كبيرة بشكل عام، بمتوسط حسابي كلي للمحور (3.89) وانحراف معياري (0.75) ووزن نسبي (77.8%).

وتصدرت التحديات ذات الطبيعة الماليّة والتقنيّة القائمة؛ إذ جاءت الفقرة (9) "التكلفة العالية للتراخيص" والفقرة (10) "الحاجة لأجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية" في المرتبتين الأولى والثانية بدرجة "تحدي كبير جدًا". ولتعميق فهمنا لهذا الواقع الكميّ، نستعرض الآن النتائج النوعيّة التي تُفسر هذه الأرقام من وجهة نظر الخبراء.

2.2.1.4 النتائج النوعيّة بالسؤال الثاني: ما تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة؟

يظهر التحليل التكراري في الجدول (5.4) أن التحديات تتجاوز مجرد العقبات التقنية لتصل إلى تحديات هيكلية وبيداغوجية عميقة، وهي الأكثر إثارة للقلق لدى جميع فئات الخبراء.

جدول (5.4): *تكرارات الترميزات النوعيّة المُتعلقة بـ"تحديات التوظيف"*

رقم الترميز	الموضوع الرئيسي (الترميز)	الخبراء	عدد التكرارات
	التحدي البيداغوجي الجوهري (الفجوة الحسيّة)		
3.0	قيمة المختبر التقليدي الذي لا يعوض	الأكاديميون غير المستخدمين	35
4.0	المخاطر المُتصورة من الاعتماد المفرط (تخريج مهندس نظري)	الأكاديميون المستخدمون	29
4.2	مهارة تشخيص الأعطال المادية (Hardware Troubleshooting)	الأكاديميون المستخدمون	13
6.2	رفض الاستبدال الكامل	الأكاديميون المستخدمون	11
	صعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائيّة	الأكاديميون المستخدمون	11
	التحديات المؤسسية والمادية		
2.1	حواجز مؤسسية ومالية	الأكاديميون غير المستخدمين	25
3.1.2	متطلبات الأجهزة (Hardware Specifications)	الأكاديميون المستخدمون	8
3.1.1	تكلفة التراخيص والبرامج	الأكاديميون المستخدمون	7
1.3	التحدي الأكبر هو إدارة التغيير	الإداريون	6

أولًا، التحدي البيداغوجي الجوهريّ (الفجوة الحسيّة وخطر المهندس النظري) يُبرز جدول (5.4) بوضوح أن التحدي البيداغوجي هو الشاغل الأكبر والأكثر إجماعًا. فالخوف من فقدان "قيمة المختبر التقليدي الذي لا يعوض" (35 تكرارًا)، التي تتمثل في "الحس الهندسي الذي لا يمكن للمحاكاة أن تنقله، مثل الإحساس بمقاومة برغي عند ربطه، أو تشخيص مشكلة من صوت غير طبيعي لمحرك" كما تصفه الخبيرة (أ. م.)، وخطر "تخريج مهندس نظري" (29 تكرارًا) يسيطران على تفكير غير المستخدمين. حيث يخشى الخبير (ب. أ. ج.) من تخريج شخص "يمتلك مهارات برمجية ممتازة لكنه يفتقر للمهارات الميدانية الأساسية". هذا ليس مجرد تمسك بالقديم، بل هو إدراك عميق لوجود مهارات لا يمكن نقلها عبر الشاشة.

وهذا ينطبق تمامًا مع إجماع المستخدمين المطلق على أن التحدي الأكبر هو فقدان "مهارة تشخيص الأعطال المادية" (13 تكرارًا)، مما يعني أن كل خبير مستخدم للمختبرات الافتراضيّة في

تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة أشـــار إلى هذا التحدي؛ حيث أجمعوا على أن الطالب قد يفشـــل في التعامل مع "عطل في حســـاس لا يمكن للمحاكاة توقعه، أو مشـــكلة في التوصـــيلات الكهربائية" الخبير (ع. م.)، وأن المهارة التي ســـتبقى مفقودة هي "مهارة تشـــخيص الأعطال الماديّة (Hardware Troubleshooting) (11 تكرارًا) إذ إنّها تُمثل السـبب التقنيّ المباشـر وراء هذا التحدي. يقول أحد الخبراء خ.ع. معبرًا عن هذا القلق المشـترك "المهارة الوحيدة التي سـأبقى قلقًا بشـأنها هي مهارة التشخيص واستكشاف الأخطاء الفيزيائيّة وإصلاحها". لأن المحاكاة –مهما تطورت– تبقى "بيئة مثالية ونظيفة لا تحاكي الفوضـــى الواقعية" بحســـب وصـــف الخبير (ع. ز.)، كما يترتب على ذلك النتيجة الفلسـفيّة الحاسـمة وهي "رفض الاسـتبدال الكامل" (11 تكرارًا)، لأن الاعتماد الكلي "سـيخلق فجوة كبيرة بين ما تعلمه الطالب في الكلية وما يطلبه سـوق العمل الحقيقي" الخبير (ب. أ. ج.)، إلا في حال الإغلاقات الكاملة بسبب الأوضاع التي تمر بها بلادنا، حفظها الله من كل سوء.

ثانيًا، التحديات المؤســـســـيّة والماديّة: بجانب هذا التحدي البيداغوجي العميق، تأتي "الحواجز المؤســـســـية والمالية" (25 تكرارًا) كثاني أكبر عائق هيكلي؛ حيث اعتبر الخبير (ب. ع. ح.) أن "الســبب الأول والرئيســي هو حاجز التكلفة" نظرًا لغلاء التراخيص، في حين لخص الخبير (ع. م.) التحدي التقني في "الحاجة الماســة لأجهزة حاسـوب ذات مواصـفات عالية". ويرى الإداريون أن هذه الحواجز ليست مجرد نقص في الميزانيّة، بل تعتبر عرضًا لمشكلة أعمق، وجزءًا من تحدٍ أشمل وهو "إدارة التغيير" (6 تكرارات)؛ إذ يعتبرون أن "التحدي الأكبر ليس الشراء، بل التشغيل المستدام" الخبير (س. م.)، مما يتطلب اسـتراتيجيّة مؤسـسـيّة واضـحة تتجاوز مجرد شـراء البرمجيات. وللاطلاع على تحليل لبعض آراء كل فئة من فئات الخبراء، والذي يتضمن الاقتباسات الدالة والتوضيحات المنهجيّة، يُرجى مراجعة الملاحق ر، ز، س.

3.1.4 النتائج المُتعلقة بالسؤال الثالث (الآثار المتوقعة)

1.3.1.4 النتائج الكميّة بالسؤال الثالث: ما الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال؟

للإجابة عن السؤال الثالث حُسِبَت المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة، ويوضح الجدول (6.4) قوة الآثار الإيجابيّة المتوقعة كما يراها الخبراء

جدول (6.4): *المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والنسب المئوية لمحور الآثار لتوظيف المختبرات الافتراضيّة مرتبة تنازليًا*

الرقم	العبارة	المتوسط الحسابي (M)	الانحراف المعياري (SD)	الوزن النسبي %	درجة الموافقة
21	توفر بيئة تعليميّة آمنة تتيح تجربة سيناريوهات معقدة أو خطرة دون أي أخطار حقيقية.	4.62	0.65	%92.4	مرتفعة جدًا
19	تساهم في تعميق فهم الطلاب للمفاهيم النظرية من خلال التطبيق والمشاهدة الفورية للنتائج.	4.58	0.70	%91.6	مرتفعة جدًا
22	تطور لدى الطلاب مهارات حل المشكلات والتفكير النقدي من خلال محاكاة أعطال النظام.	4.45	0.76	%89.0	مرتفعة جدًا
24	تتيح تنفيذ تجارب لا يُمكن إجراؤها في المختبرات التقليدية بسبب التكلفة أو الخطورة.	4.31	0.85	%86.2	مرتفعة جدًا
25	تساهم في سد الفجوة بين التعليم الأكاديمي ومتطلبات سوق العمل الصناعي الحديث.	4.28	0.89	%85.6	مرتفعة جدًا
20	تزيد من فرص وصول الطلاب للتعلم في أي وقت ومن أي مكان (التعلم المرن).	4.17	0.93	%83.4	مرتفعة

23	تســـاهم في تقليل التكاليف التشـــغيلية للمختبرات (صيانة، استهلاك، تحديث الأجهزة المادية).	3.83	1.04	%76.6	مرتفعة
	المتوسط العام للمحور	**4.32**	**0.68**	**%86.4**	**مرتفعة جدًا**

يتضح من الجدول (6.4) وجود اتفاق قوي جدًا بين الخبراء على الآثار الإيجابيّة المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة؛ حيث جاء تقويم المحور بشكل عام بدرجة مرتفعة جدًا وبمتوسط حسابي كلي للمحور (4.32) وانحراف معياري (0.68) ووزن نسبي مرتفع جدًا بلغ (86.4%). وحصلت فقرة "توفير بيئة تعليميّة آمنة" على أعلى متوسط حسابي (4.62)، تليها مباشرة "تعميق فهم الطلاب للمفاهيم النظريّة" بمتوسط حسابي (4.58). ولتعميق فهمنا لهذا الواقع الكميّ، نستعرض الآن النتائج النوعيّة التي تُفسر هذه الأرقام من وجهة نظر الخبراء.

2.3.1.4 النتائج النوعيّة بالسؤال الثالث: ما الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة؟

يكشـــف التحليل التكراري في جدول (7.4) عن إجماع قوي وتفاؤل كبير بالآثار الإيجابية التي يمكن أن تحدثها هذه التقنية على الطالب والمؤسسة

جدول (7.4): *تكرارات الترميزات النوعيّة المُتعلقة بـ"الآثار المتوقعة"*

رقم الترميز	الموضوع الرئيسي (الترميز)	الخبراء	عدد التكرارات
	الآثار التربوية على الطالب		
5.2	الدمج المدروس وتقويم الأثر	الأكاديميون غير المستخدمين	23
2.1	تعميق الفهم والتصور البصري	الأكاديميون المستخدمون	13
2.2	التفكير المنظومي (System Thinking)	الأكاديميون المستخدمون	12
2.3	بيئة آمنة للتجريب والإبداع	الأكاديميون المستخدمون	10
	الآثار على جودة الخريج وجاهزيته		
5.1	ارتقاء حقيقي وملموس (تقويم إيجابي)	الأكاديميون المستخدمون	12
9.0	الرؤية الاستشرافية: جسر نحو المستقبل	الأكاديميون غير المستخدمين	19

5.3	زيادة الجاهزية لسوق العمل	الأكاديميون المستخدمون	9
	الآثار الاستراتيجية على المؤسسة		
3.1	الفوائد الاستراتيجية (تعزيز العلامة التجارية)	الإداريون	7
3.3.1	أثر تحويلي (Transformational)	الإداريون	5

يُظهر الجدول (7.4) إجماعًا قويًا بين جميع فئات الخبراء حول الآثار الإيجابيّة المتوقعة، والتي يمكن تصنيفها ضمن ثلاثة محاور رئيسيّة: الآثار التربوية على الطالب، والآثار على جودة الخريج، والآثار الاستراتيجيّة على المؤسسة.

أولًا، على مستوى الآثار التربوية المباشرة على الطالب: يتصدر اهتمام الخبراء غير المستخدمين ضرورة "الدمج المدروس وتقويم الأثر" (23 تكرارًا)، وهو الترميز الأعلى تكرارًا في الجدول، مما يدل على أن نظرتهم الإيجابية مشروطة بتطبيق منهجي. إذ ترى الخبيرة (ن. هـ.) أن "الدمج المدروس سيرتقي بجودة الخريج بشكل جوهري وملموس" واصفةً إياه بأنه يخلق مهندسًا "يمتلك رؤية شاملة وقدرة عملية في آن واحد". ويؤكد الخبراء المستخدمون هذه الفوائد من خلال خبرتهم الميدانية؛ حيث أجمعوا بشكل مطلق على أثر التقنية في "تعميق الفهم والتصور البصري" (13 تكرارًا)؛ إذ أصبح الطالب –بحسب وصف الخبير (م. أ. ع.)– "يرى الكود وهو يعمل" مما يجعله قادرًا على "تخيل كيف يعمل السيستم الحقيقي". وشبه إجماع على تطوير "التفكير المنظومي System Thinking" (12 تكرارًا)، والذي يصفه الخبير (ح. أ. ع.) بأنه "الانتقال من التفكير الجزئي إلى التفكير المنظومي". وتوفير "بيئة آمنة للتجريب والإبداع" (10 تكرارات) كعامل أساسيّ في تحفيز الطلاب. حيث تمنحهم "حرية تجربة أفكار إبداعية وغير تقليدية دون خوف من إتلاف المعدات" كما أشار الخبير (ص. ت.).

ثانيًا، الأثر على جودة الخريج وجاهزيته لسوق العمل: يُترجم هذا الأثر التربوي مباشرة إلى نتائج ملموسة. حيث يؤكد الخبراء المستخدمون بشكل شبه إجماعي أن هذا الدمج سيؤدي إلى "ارتقاء حقيقي وملموس" (12 تكرارًا) في كفاءة الخريجين. حيث أكد الخبير (خ.ع.) "هو ليس مجرد أداة مساعدة، بل هو جسر ينقل الطالب من عقليّة المبرمج إلى عقليّة مهندس النظم"، مما يرفع "زيادة الجاهزية لسوق العمل" (9 تكرارات)، لأن الخريج "لا يخرج فقط بمعرفة في البرمجة، بل بفهم أعمق لكيفية عمل الأنظمة الصناعية، وهذا بالضبط ما تبحث عنه الشركات" بحسب رأي الخبير (ر.ع.)

ثالثًا، على المستوى الاستراتيجي للمؤسسة: تتكامل هذه النتائج مع الرؤية الأوسع؛ حيث يرى غير المستخدمين هذه التقنية كـ "جسر نحو المستقبل" (19 تكرارًا)؛ حيث أشارت الخبيرة (أ.م.) بأن هذه التقنية ستنقل الطلاب "من مجرد متعلمين إلى مهندسين مبتكرين ومستعدين حقًا للصناعة الحديثة".

وتتفق هذه الرؤية مع تصوّر الإداريين الذين يُركزون على "الفوائد الاستراتيجية" (7 تكرارات)، التي تعود على سمعة المؤسسة، وكما قال الخبير (م. ش.) "تتمثل هذه الفوائد بتعزيز العلامة التجاريّة للجامعة وجعلها أكثر جاذبيّة لأفضل المواهب". وعندما يُنفذ هذا الاستثمار بشكل صحيح، يصفون الأثر المحتمل بأنه "تحويليّ Transformational" (5 تكرارات)؛ حيث أشار الإداري (م.ح.ح.) "إن هذا الأثر المحتمل قد يبني عقليّة مختلفة تمامًا لدى الخريج"، لأنه يبني سمعة المؤسسة ويُعزز من جودة مخرجاتها. وللاطلاع على تحليل لبعض آراء كل فئة من فئات الخبراء، والذي يتضمن الاقتباسات الدالة والتوضيحات المنهجيّة، يُرجى مراجعة الملاحق ر، ز، س.

4.1.4 النتائج المُتعلقة بالسؤال الرابع (التصوّر المقترح)

ما التصور المقترح لإنشاء مختبر افتراضيّ وتوظيفه في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في الجامعات الفلسطينيّة؟

للإجابة عن هذا السؤال، استُخْلِصَت الرؤى والتوصيات من مقابلات الخبراء؛ حيث حُلِّلَت تفضيلاتهم للأدوات التقنية، ومن ثم بناء هيكلية التصور المقترح بناءً على آرائهم، وجاءت النتائج التفصيلية على النحو الآتي:

1.4.1.4 التوصيات التقنية واختيار البيئة الأنسب

عند تحليل التوصيات المتعلقة بتحديد البرمجيات الأنسب للتطبيق، حُصِرَت الإحصاءات في آراء الخبراء المستخدمين فقط (N=13)؛ وذلك لإلمامهم بمنصات المختبرات الافتراضيّة المتقدمة، وامتلاكهم الخبرة التجريبية والممارسة العملية التي تؤهلهم للمفاضلة الفنية بين المنصات، في حين ركزت آراء الخبراء غير المستخدمين (N=25) على أهمية الفكرة وضرورة التطبيق دون الدخول في التفاصيل التقنية للبرمجيات.

وبناءً على ذلك، جاءت تفضيلات الخبراء الممارسين (الـ 13) للبرمجيات المناسبة لطلبة الدبلوم والبكالوريوس (في تخصصات الكهرباء، الأتمتة، والميكاترونيكس) على النحو الآتي:

- برنامج (Factory I/O): حظي بإجماع الغالبية العظمى من الخبراء؛ حيث أوصى به (8) خبراء، بنسبة بلغت (61.5%). وعُزي هذا الإجماع إلى ملاءمته الدقيقة للمستوى المعرفي والمهاري للطلبة في هذه المرحلة، وسهولة واجهته، وتوفيره بيئة ثلاثية الأبعاد تحاكي المصانع الحقيقية بتكلفة معقولة.
- البرمجيات المتقدمة (Automation Studio™ / CIROS / PLCLogix ®):

- برنامج (Automation Studio™): أوصى به (3) خبراء، بنسبة (23.08%). ورغم إقرار الخبراء بقوته الهندسية الشاملة، إلا أنهم اعتبروه أكثر تعقيدًا وتكلفة، أو أنه يفوق الاحتياجات الأساسية لمساقات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في المرحلة الجامعية الأولى.
- برامج (CIROS ® أو PLCLogix): حصلت على توصية خبيرين اثنين (2) فقط، بنسبة بلغت (15.4%). حيث أشار هذان الخبيران إلى أن هذه البرمجيات –رغم قوتها– قد تكون أنسب لمراحل الدراسات العليا أو لأغراض البحث العلمي المتقدم وتطبيقات الروبوتكس المعقدة جدًا، مما يجعلها خيارًا ثانيًا مقارنة بـ (Factory I/O) للمرحلة الحالية.

2.4.1.4 ملامح التصوّر المقترح وهيكليته

استنادًا إلى هذا الاختيار التقني (Factory I/O) كركيزة للتطبيق، وبدمج الرؤى التربوية والإدارية المستخلصة من كافة الخبراء، تبلورت معالم التصور المقترح وفق "مدخل النظم" (Systems Approach)، والذي تتكون ملامحه الرئيسية من:

- المُدخلات (Inputs): تشمل أهدافًا واضحة لتجسير الفجوة مع الصناعة، ومنطلقات تستند إلى النظريات التربويّة الحديثة.
- عمليات (Processes): تتضمن خطة تنفيذيّة على ثلاث مراحل (تخطيط، تنفيذ تجريبي، تقويم)، وإجراءات تطبيق تجمع بين المحاضرات النظريّة، والمختبرات الافتراضيّة الماديّة.
- مُخرجات (Outputs): تهدف إلى تفعيل ناجح للمختبرات، وتخريج كوادر بمهارات متقدمة، وتعزيز السمعة المؤسسية.

- تغذية راجعة (Feedback): تعتمد على آلية تقويم مستمرة من الطلاب وأعضاء هيئة التدريس والقطاع الصناعيّ.

كما حُدِّدَت آليات التنفيذ ومتطلباته، وأبرز المعوقات المحتملة وكيفية مواجهتها. وللاطلاع على التفاصيل الكاملة للتصوّر المقترح، انظر القسم التالي:

التصور المقترح لإنشاء مختبر افتراضيّ وتوظيفه

استجابةً للواقع الذي كشفته نتائج الدراسة، والذي يتسم بالمبادرات الفردية والقصور المؤسسي، وفي ضوء التحدي البيداغوجي المتمثل في الفجوة الحسية، وسعيًا لتحقيق الأثر التحويلي الذي وعدت به التقنية، تقدم هذه الدراسة تصورًا مقترحًا لا يهدف فقط إلى توفير أداة، بل إلى بناء منظومة تعليمية متكاملة تترجم هذه النتائج إلى حل عملي ومستدام. ويتسق هذا التوجه مع المبادئ الحديثة للتعليم الهندسيّ، التي تدعو إلى تبني "التعليم القائم على المخرجات" (OBE) كإطار لضمان جودة المخرجات وتحقيق متطلبات الاعتماد الدولي، كما أوضحت دراسة سيد وآخرون (Syeed et al., 2022)، ويتناغم مع الأطر المنهجيّة العالميّة (OBE) إلى تبني التعليم القائم على المُخرجات التي تؤكد على ضرورة تصميم وتوظيف المختبرات الافتراضيّة بشكل شمولي يأخذ بعين الاعتبار أصحاب المصلحة، وسيناريوهات الاستخدام، والمكونات التقنية (Terkaj et al., 2024).

وعليه، فإن هذا التصور يرتكز على مبدأ حاكم وأساسي هو "الدمج الذكي"، وليس "الإحلال الكامل" الهدف هو تخريج مهندس أو فني يمتلك "أفضل ما في العالَمَين": القدرة على التفكير المنظومي وتصميم الأنظمة المُعقدة التي تمنحها المحاكاة، والمهارة العمليّة والحس الهندسيّ الذي يمنحه المختبر التقليديّ. ولتحقيق هذا الهدف، يُقدم التصور نموذجًا تطبيقيًا هو "دورة التعلُّم المُتكاملة"، والذي نستعرض إطاره البيداغوجي وخطته التنفيذيّة فيما يلي:

بناءً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة، والتي أبرزت ضرورة الجمع بين مزايا المحاكاة والمختبر الافتراضيّ وقيمة التجربة العملية، تقدم الدراسة تصورًا مقترحًا كإطار بيداغوجي لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في الجامعات الفلسطينيّة.

المبدأ الحاكم: الدمج، وليس الإحلال .الهدف هو تخريج مهندس أو فني يمتلك "أفضل ما في العالمين": القدرة على التفكير المنظومي وتصميم الأنظمة المعقدة التي تمنحها المحاكاة، والمهارة العملية والحس الهندسي الذي يمنحه المختبر التقليدي.

الإطار البيداغوجي للتصور المُقترح:

"**دورة التعلم المتكاملة** (The Integrated Learning Cycle)"

هذا النموذج يستند إلى أسس نظرية متعددة اسْتُعْرِضَت في الإطار النظري؛ حيث يدمج بين نظرية الحمل المعرفي، ونظرية التعلم التجريبي لكولب، والبنائية.

المرحلة الأولى (قبل المختبر التقليدي) – بناء المخططات المعرفيّة (Cognitive Schemas)

النشاط: يستخدم الطالب المختبر الافتراضيّ لفهم المفاهيم النظرية، وتصميم وبرمجة أنظمة متكاملة، واختبار منطقه البرمجي في بيئة آمنة.

الأساس النظري: تطبيق لنظرية الحمل المعرفي؛ حيث يتم تقليل الحمل الخارجي (الخوف من إتلاف الأجهزة، تعقيدات التوصيل) والتركيز على الحمل ذي الصلة (بناء المنطق البرمجي وفهم ديناميكية النظام).

الهدف: يصل الطالب إلى المختبر التقليدي وهو يمتلك فهمًا عميقًا للمنطق والهدف من التجربة، مما يحرر موارده المعرفيّة للتركيز على المهارات العمليّة.

المرحلة الثانية (أثناء المختبر التقليدي) –التجربة الملموسة والملاحظة التأمليّة

النشـــاط: يطبق الطالب ما تعلمه افتراضـــيّا على أجهزة حقيقية، مع التركيز على التوصـــيل، والقياس، وتشخيص الأعطال المادية.

الأســـاس النظري: تطبيق مباشـــر لدورة كولب للتعلم التجريبي؛ حيث يخوض الطالب "تجربة ملموسة" ويتعلم من خلال "الملاحظة التأملية" للفجوة بين المحاكاة المثالية والواقع الفوضوي.

الهدف: بناء المهارات العملية والحسية وتجسير الفجوة بين العالم المثالي والعالم الحقيقي.

المرحلة الثالثة (بعد المختبر التقليدي) – التجريب النشط والإبداع

النشـاط: يعود الطالب إلى المختبر الافتراضـيّ لتطبيق سـيناريوهات أكثر تعقيدًا لا يمكن تنفيذها على الأجهزة المادية المحدودة، ولتطبيق سـيناريوهات أكثر خطورة أو ابتكار حلول لمشـاكل واجهها في المختبر الحقيقي.

الأساس النظري: تجسيد لمبادئ التعلم البنائيّ والتعلُّم القائم على المشاريع؛ حيث يستخدم الطالب معرفته المكتسبة لبناء حلول جديدة وإبداعيّة بشكل مستقل.

الهدف: تعزيز الإبداع، وتطوير مهارات حل المشـكلات المتقدمة، وإنتاج مخرجات ملموسـة (مثل مشاريع التخرج) يمكن تقويمها.

شروط نجاح التصور المقترح

إن تطبيق هذا النموذج بنجاح ليس مجرد قرار بيداغوجي، بل هو نتاج منظومة متكاملة تتطلب:

- دعمًا مؤسسيًا حقيقيًا (كما ورد في التوصيات).

- كادرًا تدريسيًا مؤهلًا وممكّنًا.
- بنية تحتية تقنية ملائمة.
- منهجًا دراسيًا مرنًا يسمح بهذا التكامل الدوري.

إن تطبيق هذا التصور المقترح من شأنه أن يعالج التحديات التي أبرزتها الدراسة، ويعظم الآثار الإيجابية، ويساهم في نهاية المطاف في تحقيق الهدف الأسمى، وهو تخريج كوادر هندسية وفنية مؤهلة بشكل شامل لمواجهة متطلبات سوق العمل الحديث، ويجب التنويه أن جدوى هذا النموذج الهجين ليست مجرد افتراض نظري، بل هي ممارسة مُثبتة في أرقى الجامعات الهندسيّة؛ إذ عرضت دراسة دسوزا وآخرين(Dsouza et al., 2024) مشروعًا ناجحًا لطلاب الماجستير، استخدم نفس المنهجيّة حيث طُبِّقَ في المختبر الافتراضيّ Factory I/O مع وحدات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة حقيقيّة؛ لتصميم نظام أتمتة مُعقد، مما يؤكد على أن هذا التصوّر يُمثل ممارسة فُضلى قابلة للتطبيق. وفيما يلي الخطّة التنفيذيّة المُفصّلة.

3.4.1.4 الخطّة التنفيذيّة المفصّلة للتصوّر المُقترح

ولتطبيق هذا الإطار البيداغوجي على أرض الواقع، طُوِّرَت خطة تنفيذية تعتمد على نموذج النظم (Systems Approach)، وتتكون من المكونات والآليات التالية:

أولًا: مكونات الخطة التنفيذيّة

1. **المدخلات (Inputs)**: وتشمل الأسس التي يقوم عليها التصور.

أهداف التصور المقترح (General Objectives)

- تجسير الفجوة بين المعرفة النظرية والتطبيق العملي في مجال الأتمتة الصناعية.

- إعداد كوادر فنية وهندسية مؤهلة تتوافق مهاراتهم مع متطلبات الثورة الصناعية الرابعة.
- رفع كفاءة وجودة المخرجات التعليمية في برامج الهندسة والتقنية الصناعية.

الأهداف الخاصة في التصور المقترح (Specific Objectives)

- تمكين الطلاب من إتقان لغات البرمجة المختلفة للمتحكمات (Ladder Logic, FBD, ST) في بيئة آمنة وتفاعلية.
- تنمية مهارات التفكير المنطقي واستكشاف الأخطاء البرمجيّة (Logical Troubleshooting) وإصلاحها.
- إكساب الطلاب القدرة على تصميم ومحاكاة أنظمة تحكم صناعية متكاملة ومعقدة.
- تعريف الطلاب بمفاهيم متقدمة مثل "التوأم الرقمي (Digital Twin) "وربط المحاكاة بواجهات المشغل (HMI) وأنظمة (SCADA).

خصائص التصور المقترح:

- الواقعية: يعتمد على برامج محاكاة صناعية قياسية تحاكي بيئة العمل الفعلية.
- التكاملية: يدمج بين الجانب الافتراضيّ والجانب العملي المادي ولا يلغي أحدهما.
- المرونة: يتيح التعلم في أي وقت ومن أي مكان، ويتيح تكرار التجارب دون تكلفة أو خطورة.
- الأمان: يسمح بمحاكاة العمليات الصناعية الخطرة دون أي مخاطر على الطلاب أو المعدات.

منطلقات التصور المقترح:

- النظريات التربوية الحديثة كالنظرية البنائية والتعلم القائم على المشاريع
- النمو المتسارع في تقنيات الأتمتة والتحول الرقمي في القطاع الصناعيّ.
- التكلفة المرتفعة وصعوبة توفير وصيانة أعداد كافية من معدات التدريب الماديّة.

متطلبات المحتوى:

يجب أن يُعاد تصميم المحتوى التعليمي ليشمل سيناريوهات ومشاريع صناعية واقعية (Case Studies) مثل: التحكم في خطوط التعبئة والتغليف، أنظمة المناولة الآلية، التحكم في إشارات المرور، التحكم في عمليات الخلط والمعالجة.

متطلبات تدريسيّة وتقويميّة:

تحول دور عضو هيئة التدريس من "ملقن" إلى "موجه وميسر" للعملية التعليمية.

اعتماد أساليب تقويم حديثة تركز على الأداء (Performance-Based Assessment) من خلال تقويم المشاريع التي ينفذها الطلاب داخل بيئة المحاكاة.

2. العمليات (Processes): وتشمل المراحل والإجراءات التنفيذية للتصور.

مراحل التصور المقترح (خطوات التصور):

المرحلة الأولى: الإعداد والتخطيط (6 أشهر):

- تشكيل لجنة إشرافية من خبراء المجال وأعضاء هيئة التدريس.
- دراسة وتحليل برامج المختبرات الافتراضيّة المتاحة واختيار الأنسب مثل Factory I/O, Automation Studio ™, CIROS ®, Emulate3D ™, PLCLogix وفي هذا السياق، ورغم إشارة الخبراء إلى كفاءة برامج متقدمة متخصصة مثل (Automation Studio ™) و (CIROS ®)، إلى أن نتائج هذه الدراسة أظهرت شبه إجماع على أن المختبر الافتراضيّ (Factory I/O) يُمثل نقطة الانطلاق المثاليّة لطلاب مرحلتي الدبلوم والبكالوريوس في التخصصات الهندسيّة المُستهدفة، نظرًا لسهولة استخدامه وواقعية سيناريوهاته الصناعيّة.

- تصميم المناهج والتجارب الافتراضيّة وربطها بالمقررات الدراسية.
- عقد ورش عمل تدريبية مكثفة لأعضاء هيئة التدريس والفنيين.

المرحلة الثانية: التنفيذ التجريبي (فصل دراسي واحد):

- تطبيق التصور على مجموعة تجريبية من الطلاب.
- جمع البيانات والملاحظات والتغذية الراجعة من الطلاب وأعضاء هيئة التدريس.

المرحلة الثالثة: التقويم والتحسين والتعميم (مستمرة):

تحليل نتائج المرحلة التجريبية وإجراء التعديلات اللازمة.

إجراءات تطبيق البرنامج:

- تخصيص المحاضرات النظرية لشرح المفاهيم الأساسية.
- استخدام ساعات المختبر الافتراضيّ لتطبيق المفاهيم، وبناء البرامج، وإجراء المحاكاة.
- تخصـــيص ســـاعات المختبر المادي (الحقيقي) لتطبيق بعض التجارب المختارة للتدريب على التوصيلات واستكشاف الأخطاء المادية.

3.المخرجات (Outputs): وهي النتائج المتوقعة من تطبيق التصور.

- المخرج الرئيسي: تفعيل ناجح ومستدام للمختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة.
- مخرجات معرفية ومهارية: خريجون يمتلكون مهارات برمجية وتحليلية متقدمة في مجال الأتمتة، وقادرون على التعامل مع أنظمة التحكم الصناعية الحديثة بكفاءة.
- مخرجات مؤسسية: برامج أكاديمية وتدريبية حديثة ومواكبة لسوق العمل، وسمعة مؤسسية متميزة.

4. التغذية الراجعة (Feedback): وتشمل آلية التقويم والمتابعة.

يتم جمع التغذية الراجعة بشكل دوري من خلال:

- تقويم أداء الطلاب في المشاريع والتجارب الافتراضيّة.
- استبانات رضا الطلاب وأعضاء هيئة التدريس.
- تقارير الأداء الدورية من اللجنة الإشرافية.
- لقاءات مع ممثلين من القطاع الصناعي لضمان مواءمة المخرجات.

ثانيًا: آليات تنفيذ ومتطلبات تطبيق الخطة التنفيذيّة

آليات تنفيذ التصور المقترح:

- تشكيل لجنة عليا: لتوجيه ومتابعة تنفيذ مراحل التصور.
- تطوير شراكات استراتيجية: مع الشركات المصنعة لبرامج ومعدات الأتمتة للحصول على دعم فني وتراخيص تعليمية.
- إطلاق حملة توعوية: داخل المؤسسة التعليمية لبيان أهمية التحول نحو المختبرات الافتراضيّة.
- متطلبات تطبيق التصور المقترح:
- دعمٌ إداري ومالي: التزام من الإدارة العليا بتوفير الميزانيات اللازمة للبنية التحتية والبرمجيات.
- بنيةٌ تحتية تقنية قوية: أجهزة حاسب آلي حديثة، وتراخيص برامج المختبرات الافتراضيّة، وشبكة إنترنت مستقرة.
- كوادرُ بشرية مدربة: أعضاء هيئة تدريس وفنيو مختبرات لديهم الكفاءة لتشغيل هذه التقنيات.

ثالثًا: الصعوبات والمعوقات المحتملة وآليات مواجهتها

المعوقات المحتملة لتطبيق التصور المقترح (الصعوبات):

- مقاومة التغيير: من قبل بعض أعضاء هيئة التدريس المتمسكين بالأساليب التقليدية.
- ضعف المهارات العملية المادية: الخوف من أن يؤدي التركيز على المحاكاة إلى إهمال المهارات اليدوية في التعامل مع الأجهزة.
- التكلفة الأولية العالية: لشراء التراخيص وتجهيز المختبرات.
- مشاكل تقنية: تتعلق بتثبيت البرامج أو توافقها مع أنظمة التشغيل.
- آليات مواجهة المعوقات المحتملة:
- للتغلب على مقاومة التغيير: إشـــراك الجميع في عملية التخطيط وإبراز قصـــص النجاح والفوائد الملموسة.
- لمعالجة ضـــعف المهارات العملية: التأكيد على النموذج الهجين (Blended) الذي يجمع بين المختبرات الافتراضيّة والمادية.
- لمواجهة التكلفة: البحث عن شـراكات صـناعية، والبدء بمرحلة تجريبية محدودة، والاسـتفادة من التراخيص التعليمية المخفضة.
- للتعامل مع المشاكل التقنية: توفير فريق دعم فني متخصص ومؤهل.

رابعًا: جهات تنفيذ الخُطّة التنفيذيّة

يشترك في تنفيذ هذا التصور عدة جهات تتكامل أدوارها لضمان النجاح:

- الإدارة العليا للمؤسسة التعليميّة: توفير الدعم الاستراتيجي والمالي.

- عمادات الكليات ورؤساء الأقسام الأكاديمية: الإشراف المباشر على التنفيذ وتكييف الخطط الدراسية.
- أعضاء هيئة التدريس والمدربون: التطبيق الفعلي داخل القاعات الدراسية والمختبرات.
- وحدة تقنية المعلومات: توفير الدعم الفني والصيانة للبنية التحتية.
- لجنة استشارية من القطاع الصناعيّ: لضمان ارتباط المحتوى بمتطلبات سوق العمل.

2.4 النتائج المُتعلقة بفرضيات الدراسة

1.2.4 النتائج المُتعلقة بالفرضيّة الأولى (متغير طبيعة العمل)

لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية (عند مستوى دلالة $\alpha = 0.05$) في متوسطات استجابات أفراد عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة تُعزى لمتغير طبيعة العمل (أكاديمي- إداري).

ولاختبار هذه الفرضيّة استخدمت الباحثة تحليل "ت" لعينتين مُستقلتين (Independent Samples T-test)، والجدول (8.4) يُبين ذلك

جدول (8.4): *نتائج اختبار "ت" لدلالة الفروق في تصوّر واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تبعًا لمتغير طبيعة العمل*

المستوى التعليمي	العدد (N)	المتوسط (M)	الانحراف (SD)	قيمة "ت" (t)	درجات الحرية (df)	الدلالة (Sig.)
أكاديمي	38	3.15	0.85	-1.57	58	0.121
إداري	22	3.41	0.72			

يتضح من الجدول (8.4) عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائيّة في متوسطات استجابات الخبراء حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة تُعزى لمتغير

طبيعة العمل (أكاديمي، إداري). أي لا يوجد تأثير لنوع العمل (أكاديمي أو إداري) على تصـور واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في هذه العينة.

ويُمكن تفسير هذه النتيجة الإحصائية من خلال التحليل النوعيّ للمقابلات، الذي كشف عن توافق جوهري في الرؤى بين الأكـاديميين والإداريين رغم اختلاف منطلقاتهم الوظيفيـة؛ إذ التقت وجهـات نظرهم حول ثلاث ركائز أساسية:

- الاتفاق على "حاجز التكلفة والموارد" كعقبـة رئيســـية: كِلا الطرفين يُقيم واقع التنفيذ بنفس درجة الصـعوبة المالية؛ فبينما أشار الأكاديمي ب.ع.ح. إلى أن "توفير التراخيص لعدد كبير من الطلاب يشكل عبئًا ماليًا كبيرًا"، تقاطعت معه وجهة النظر الإدارية؛ حيث أشـار الإداري م.ع. إلى التحدي المالي بوصفه "العائق الأول وبلا منازع في ظل محدودية الميزانيات".
- النظرة المشتركة للتقنية كـــ "ضرورة" وليست "رفاهية": ساهم الوعي المرتفع بقيمة الأداة في تقارب المتوسـطات الحسـابية؛ فالأكاديميون (مثل الخبيرة أ. م.) يرونها "أداة قوية لسـد فجوة التصـــور"، وهو ما يتطابق مع الرؤية الإدارية (مثل الإدارية م. ق.) التي تعتبرها "ضـــرورة استراتيجية لسد الفجوة بين المخرجات التقليدية ومتطلبات السوق".
- التوافق التام على فلســفة "الدمج والتكامل" ورفض الاســتبدال: دعمت البيانات النوعيّة عدم وجود فروق في التوجهات؛ حيث أجمع الطرفان على رفض فكرة الإحلال الكامل للمختبرات التقليديـة. ففي حين حذر الأكـاديمي (ب. أ. ج.) من "تخريج مهنـدس نظري" مطـالبًا بـأن تكون الأداة "مكملة"، أكد الجانب الإداري بشكل عام أن "المسـتقبل ليس في الاختيار بينهما، بل في التكامل الذكي" حيث أكد على ذلك الإداري (م. ش)، مما يفســر وقوف الجميع على أرضية مشتركة تجاه واقع التوظيف.

2.2.4 النتائج المُتعلقة بالفرضيّة الثانية (متغير سنوات الخبرة السابقة)

لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية (عند مستوى دلالة $\alpha = 0.05$) في متوسطات استجابات أفراد عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة تُعزى لمتغير سنوات الخبرة السابقة (أقل من 5 سنوات، من 5–10 سنوات، أكثر من 10 سنوات).

ولاختبار هذه الفرضيّة استخدمت الباحثة "تحليل التباين الأحاديّ" (One-Way ANOVA)، والجدول (9.4) يُبين ذلك

جدول (9.4): *نتائج اختبار تحليل التباين الأحادي (ANOVA) لدلالة الفروق في تصوّر واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تبعًا لمتغير سنوات الخبرة السابقة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة*

مصدر التباين	مجموع المربعات	درجات الحرية (df)	متوسط المربعات	قيمة "ف" (F)	الدلالة (Sig.)
بين المجموعات	1.89	2	0.945	1.45	0.243
داخل المجموعات	37.15	57	0.652		
المجموع	39.04	59			

يتضح من الجدول (9.4) عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائيّة في متوسطات استجابات الخبراء حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة تُعزى لمتغير سنوات الخبرة السابقة (أقل من 5 سنوات، من 5–10 سنوات، أكثر من 10 سنوات). أي لا يوجد تأثير لسنوات الخبرة السابقة على تصور واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة في هذه العينة.

وتجد هذه النتيجة الكميّة تفسيرها العميق في البيانات النوعيّة، التي كشفت عن "وعي جمعي" موحد بين الخبراء تجاوز الفوارق الزمنية في خبراتهم. حيث أظهر التحليل أن التحديات والفرص المرتبطة بهذه التقنيّة واضحة لدرجة أنها وحدت رؤى الخبراء الجدد والمخضرمين في مسارين رئيسيين:

- وحدة "القلق المهني" تجاه المهارات اليدويّة: بغض النظر عن سنوات الخبرة، أجمع الخبراء على حقيقة تقنيّة ثابتة وهي "الفجوة الحسيّة". فالخبير (م. ح.) يؤكد أن قلقه الوحيد هو "مهارة التشخيص واستكشاف الأخطاء الفيزيائيّة"، وهو ما يطابق تمامًا رؤية الخبير (ب. أ. ج) الذي شدد على فقدان "الذاكرة العضلية". هذا التطابق يؤكد أن الواقع التقني للمختبرات يفرض نفسه على تقدير الخبراء أكثر مما تفرضه سنوات خبرتهم.
- الإجماع على الحل "الوسطي" (الدمج): لم تظهر البيانات النوعيّة أي انقسام جيلي (بين حماس الشباب للتقنية وتحفظ الكبار)، بل أظهرت نضجًا مشتركًا في الرؤية. فالجميع، بلا استثناء، نادى بفلسفة "التكامل لا الاستبدال". إذ صرح الخبير (خ. ع.) بحسم أن "الاعتماد الكامل هو وصفة لخلق خريج غير مكتمل"، وهي نفس الرؤية التي تبناها الخبير (ي. ش) بقوله: "أنا أؤمن بأن هذه الأدوات يجب أن تكون جزءًا من نهج متكامل". هذا الاتساق في "فلسفة الاستخدام" يفسر غياب الفروق الإحصائية؛ فالخبرة هنا لم تؤدِ إلى اختلاف في وجهات النظر، بل عززت القناعة المشتركة بأن التكنولوجيا أداة مكملة وليست بديلة.

الفصل الخامس

تفسير النتائج ومناقشتها

1.5 تفسير نتائج أسئلة الدّراسة ومناقشتها

1.1.5 تفسير نتائج السؤال الأول ومناقشتها

2.1.5 تفسير نتائج السؤال الثاني ومناقشتها

3.1.5 تفسير نتائج السؤال الثالث ومناقشتها

4.1.5 تفسير نتائج السؤال الرابع ومناقشتها

2.5 تفسير نتائج فرضيّات الدّراسة ومناقشتها

1.2.5 تفسير نتائج الفرضيّة الأولى (متغير طبيعة العمل) ومناقشتها

2.2.5 تفسير نتائج الفرضيّة الثانية (متغير سنوات الخبرة السابقة) ومناقشتها

3.5 الاستنتاجات

4.5 التوصيات

1.4.5 توصيات موجهة إلى الإدارات العليا وصناع القرار في الجامعات

2.4.5 توصيات موجهة إلى الأقسام الأكاديمية وأعضاء هيئة التدريس

3.4.5 توصيات موجهة للباحثين في المستقبل

5.5 مقترحات لدراسات مستقبلية

الفصل الخامس

تفسير النتائج ومناقشتها

تضمن هذا الفصل مناقشة النتائج التي توصّلت إليها الدّراسة، من خلال أسئلتها وما انبثق عنها من فرضيّات، وذلك بمقارنتها بالنتائج التي توصّلت إليها الدّراسات السابقة الواردة في هذه الدّراسة، إضافة إلى تفسير النتائج، وصولًا إلى التوصيات والمقترحات التي يمكن طرحها في ضوء هذه النتائج.

1.5 تفسير نتائج أسئلة الدّراسة ومناقشتها

1.1.5 تفسير نتائج السؤال الأول ومناقشتها

مناقشة نتائج السؤال الأول: ما واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال؟

كشفت النتائج الكميّة أنَّ تصوّر الخبراء لواقع توظيف المختبرات الافتراضيّة جاء بدرجة "متوسطة" بشكل عام؛ إذ بلغ المتوسط الحسابي (Mean=3.24). وعند الغوص في تفاصيل المؤشرات الرقمية، نجد تباينًا واضحًا يفسر هذه النتيجة؛ فقد احتلت الفقرة (6) التي تنص على أن "المختبرات الافتراضيّة تُستخدم حاليًا كأداة مكملة وليست بديلًا" المرتبة الأولى بمتوسط مرتفع (Mean=3.95)، مما يعكس وعيًا تربويًا عاليًا بطبيعة هذه الأدوات. في المقابل، تذيلت الفقرة (4) المتعلقة بـ "توفر الدعم الفني والتقني" القائمة بمتوسط منخفض (Mean=2.53)؛ مما يكشف عن فجوة عميقة بين القناعة التربوية والتمكين المؤسسي.

هذه النتيجة لا تعكس اهتمامًا فاترًا، بل تعتبر محصلة منطقية لمفارقة أساسيّة (A Fundamental Paradox) تتمثل في وجود قوتين متعاكستين: الأولى (قوة دافعة): هي وجود دفع قوي من القاعدة إلى القمة (Bottom-Up Push) مدفوع بالمبادرات الفردية من الأساتذة والمدرسين المتحمسون جدًا ويدفعون بقوة لاستخدام هذا التقنيّة، ويبادرون من أنفسهم لأنهم يرون حاجتها العملية في محاضراتهم الجامعيّة. والثانية (قوة معيقة): تصطدم بقصور منهجي من القمة إلى القاعدة (Top-Down Failure) نابع من البيئة المؤسسية؛ حيث إنّ إدارة الجامعة والأنظمة الإدارية لا تقدم الدعم الكافي، فلا توجد خطط واضحة، ولا ميزانيات كافية، ولا دعم فني حقيقي. وفي اتساق لافت مع هذه النتيجة، توصلت دراسة أبو عوه والعجمي(2023) إلى أن واقع استخدام معلمات العلوم للمعامل الافتراضيّة في السعوديّة جاء أيضًا بدرجة "متوسطة"، مما يُشير إلى أن هذا الواقع قد يُمثل مرحلة انتقاليّة مُشتركة في المنطقة العربيّة، تتميز بالبدء في التبني دون الوصول إلى مرحلة النضج المؤسسي الكامل. وعلى النقيض قليلًا، تختلف هذه النتيجة نسبيًا مع دراسة العتيبي وعكيري(2024) التي أظهرت درجة توظيف "مرتفعة جدًا" لدى معلمات العلوم؛ وقد يُعزى هذا الاختلاف إلى طبيعة التخصص (علوم عامة مقابل هندسة تحكم معقدة تتطلب تجهيزات أكبر) أو لاختلاف مستوى الجاهزية الرقمية في بيئة الدراسة.

فمن جهة، يتجلى هذا الدفع من القاعدة (القوة الأولى: حماس الأكاديميين) في إجماع فلسفي واضح على قيمة هذه التقنيات كـ"أداة مكملة" وليست بديلة، وهو ما يظهر جليًا في تطابق تام بين أعلى فقرات الاستبانة تقديرًا (الفقرة 6، Mean=3.95) وأكثر الأفكار تكرارًا في مقابلات المستخدمين (13 تكرارًا). يؤكد الخبير (ب.أ.ج.) هذه الفلسفة قائلًا: "تحفظي ليس على استخدامها كأداة مُساندة، بل على فكرة أنها يمكن أن تكون بديلًا ... أنا أؤمن بأن هذه الأدوات يجب أن تكون داعمة ومكملة للمختبر الحقيقي، وليست بديلًا كاملًا عنه." غير أن هذا التبني، كما تكشف البيانات النوعيّة بعمق، ليس نتاج رؤية

استراتيجية، بل هو استجابة تكتيكية تنبع من "دافع شخصي وحاجة عملية" (8 تكرارات). كما يجسد الخبير (ب. ز.) هذا الواقع بقوله:

"الرحلة بدأت بشكل أساسي من الحاجة العملية في مساق 'المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة' الذي أُدرسه. لم يكن توجهًا مؤسسيًا بقدر ما كان حلًا للمشكلات التي نواجهها على أرض الواقع".

ويضيف الخبير (ب. م.) بُعدًا هيكليًا لهذا التحدي، موضحًا كيف أن طبيعة الخطط الدراسية نفسها قد تُعيق الاستثمار المؤسسي:

وترى الباحثة، السبب الرئيسي هو حاجز مؤسسي وهيكلي بحت. معظم هذه المساقات تبدأ كمساقات اختيارية في التخصص، ومن غير المنطقي إداريًا وماليًا أن يستثمر القسم مبالغ كبيرة في برمجيات لمادة قد لا يسجل بها عدد كاف من الطلاب".

ومن جهة أخرى، فإن هذه "المبادرات الفرديّة" في التبني هي ما يفسر القصور المؤسسيّ (**Top-Down Failure**)، (القوة الثانيّة المعاكسة: ضعف الدعم الإداريّ) والذي يظهر في التقدير "المنخفض" للفقرة (4) "تُوَفِّر المؤسسات للدعم الفني والتقني" إذ بلغ المتوسط الحسابي (Mean=2.53). ويترجم هذا القصور في البيانات النوعيّة بشكل قاطع؛ حيث يمثل غياب الدعم عائقًا أساسيًا لغير المستخدمين "حواجز مؤسسية ومالية" (25 تكرارًا) ومصدر إحباط مستمر للمستخدمين الفعليين "ضعف الدعم المالي والإداري" (6 تكرارات). ويكشف الخبراء الإداريون أن جذر المشكلة يكمن في "غياب الرؤية طويلة الأمد" (5 تكرارات)، وهو ما لخصه أحدهم في عبارة بليغة تصف الوضع بأنه "تشجيع بدون تمكين":

"هل هناك دعم 'فعلي' وملموس؟ الإجابة هي الدعم يتوقف عند الكلام... يمكن وصف الوضع بأنه 'تشجيع بدون تمكين'." الخبير (خ.أ.)

هذا الاقتباس يلخص بدقة مأزق المبادرات الفردية التي تصطدم بالجمود المؤسسي، وهو قصور يتجاوز السياق المحلي ليلامس واقعًا إقليميًا أشارت إليه دراسات مشابهة كدراسة الهادي

والجبري(2022) في اليمن التي كشفت عن ضعف كبير في "متطلبات البيئة التعليميّة والبرمجيات"، وهو ما يفسر لماذا يبقى الواقع متوسطًا رغم توفر العنصر البشري الراغب في التغيير. وعليه، ورغم اتفاق هذه النتيجة مع دراسة الحربي(2023) في وجود تصور غير مكتمل لأهمية المختبرات الافتراضيّة (حياد/متوسط) والذي أرجعته الدراسة لعدم اكتمال البُنية التحتيّة، إلا أنها تضيف بُعدًا تفسيريًا أعمق، موضحةً أن القصور الحقيقي ليس في الوعي بأهميتها، بل في الفشل المؤسسي في ترجمة هذا الوعي إلى دعم حقيقي ومستدام.

وهنا، تبرز المقارنة مع التجارب الدولية الناجحة أهمية الدعم المؤسسي الممنهج. ففي دراسة حالة حديثة، أظهر فارغاس وآخرين(Vargas et al., 2023) كيف تم دمج برنامج Factory I/O بنجاح ضمن مساق ماجستير في تشيلي من خلال إطار بيداغوجي واضح قائم على الكفاءات (Competency-Based). لم يكن التبني هناك مبادرة فردية، بل كان جزءًا من تصميم منهجي للمقرر يهدف إلى تحقيق مخرجات تعلم محددة وقابلة للقياس. هذا النموذج الناجح يؤكد أن الانتقال من واقع "متوسط" إلى واقع "متقدم" لا يعتمد فقط على حماس الأكاديميين، بل يتطلب بالضرورة وجود إطار مؤسسي وتربوي واضح يحول هذا الحماس إلى ممارسة تعليمية مستدامة وفعالة، وهو بالضبط ما يفتقر إليه الواقع الحالي في السياق الفلسطيني.

وخلاصة القول، إن الواقع الحالي لتوظيف المختبرات الافتراضيّة هو واقع "متوسط" ليس بسبب اهتمام فاتر، بل النتيجة الحتميّة لهذا الصراع الديناميكي بين طرفين غير متكافئين: أكاديميون متحمسون يبادرون من الأسفل مدفوعين بحاجة عملية ملحة، وبنية مؤسسية مترددة تقف عاجزة من الأعلى عن تحويل الدعم الشفهي إلى تمكين حقيقي. هذا الواقع يعكس مرحلة انتقالية حرجة؛ حيث الإمكانات واضحة للجميع، لكن آلية الانتقال من المبادرة الفردية إلى التكامل المؤسسي لا تزال هي الحلقة المفقودة؛ حيث يُلغى تأثير حماس الأكاديميين ومبادراتهم إلى حد كبير بسبب غياب الدعم

المؤسسي المُمنهج. وهذا يؤكد أن القصور الحقيقي ليس في الوعي بأهميتها، بل في الفشل المؤسسي في ترجمة هذا الوعي إلى دعم حقيقي ومستدام.

2.1.5 تفسير نتائج السؤال الثاني ومناقشتها

مناقشة نتائج السؤال الثاني: ما تحديات توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟

تُوحي النتائج الكميّة، للوهلة الأولى، بأنَّ التحديات الأبرز التي تواجه توظيف المختبرات الافتراضيّة هي ماديّة وتقنيّة بطبيعتها؛ حيث جاء المتوسط الحسابي العام "مرتفعًا" (Mean=3.89)، وبالنظر إلى ترتيب الفقرات، نجد أن التحديات المالية والتقنية تصدرت المشهد؛ إذ جاءت "التكلفة العالية للتراخيص" (الفقرة 9) في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي (Mean=4.55)، تلتها "الحاجة لأجهزة بمواصفات عالية" (الفقرة 10) بمتوسط حسابي (Mean=4.38). بينما جاءت التحديات التربوية مثل "صعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية" (الفقرة 11) في مرتبة تالية بمتوسط (4.21).

تُفسر الباحثة هذه التراتبية بأن العوائق المادية (التكلفة والأجهزة) تمثل "حاجز الدخول" الأول الذي يمنع المؤسسة من البدء، ولذلك فهي الأكثر وضوحًا وإلحاحًا في الاستبانة. يُلخص الخبير (ع. م.) هذه التحديات الفوريّة بقوله: "مباشرةً، قفزت إلى ذهني التحديات العمليّة التي نواجهها. أولًا، التكلفة العالية لتراخيص مثل هذه البرمجيات المُتقدمة. ثانيًا، الحاجة الماسة لأجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية لتشغيلها بكفاءة."

هذه النتائج تتسق مع دراسة الشهري وآخرين(2023)، التي رتبت المعوقات وجعلت "الجانب التقني والتجهيزات" في المرتبة الأولى قبل معوقات المعلم والمنهج، كما تتفق مع دراسات إقليمية سابقة كدراسة تركي والسبو(2022) وبلفقيه(2020) التي وضعت نقص الإمكانات المادية في مقدمة المعوقات.

ورغم أن هذه العوائق المادية حقيقية وملموسة، وقد برزت في المقابلات كـ"حواجز مؤسسية ومالية" (25 تكرارًا)، كما تكرر كود "تكلفة التراخيص والبرامج" (7 مرات) و"متطلبات الأجهزة" (8 مرات) لدى الأكاديميين المُستخدمين، إلا أن البيانات النوعيّة تعيد تأطير المشكلة، كاشفةً عن أن التحدي الجوهري ليس في الموارد، بل في البيداغوجيا والهويّة المهنيّة.

فبمجرد تجاوز الحاجز المالي، يبرز التحدي الأعمق المتمثل في "الفجوة الحسية"؛ حيث يتمحور القلق المهيمن في خطاب الخبراء يتمحور حول فكرة "فقدان قيمة المختبر التقليدي الذي لا يعوض" (35 تكرارًا)، والخوف من "تخريج مهندس نظري/افتراضيّ"(29 تكرارًا). ويتجسد هذا القلق في إجماع مطلق ومثير للدلالة؛ حيث اتفق جميع الخبراء المستخدمين للتقنية (13 خبيرًا) على أن المهارة التي ستبقى مصدر قلقهم الأكبر هي "تشخيص الأعطال الماديّة Hardware Troubleshooting".

هذا الإجماع المطلق يفسر بوضوح لماذا حصلت فقرة "صعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية" (11 تكرارًا)، فقد كان هو النقطة الأكثر إجماعًا في المقابلات، حصلت هذه (الفقرة 11) على تقدير "تحدي كبير جدًا" (Mean=4.21)، فالمسألة تتجاوز مجرد صعوبة تقنيّة إلى تهديد لجوهر الكفاءة الميدانيّة للمهندس. وهنا تتفق النتيجة تمامًا مع ما أشارت إليه دراسة عثمان وشتوكر(Othman & Stöcker, 2022) من أن المختبرات الافتراضيّة تتطلب مهارات جديدة ولا يمكنها تعويض التجربة الواقعية بالكامل، وهو ما يدعم المخاوف حول "الفجوة الحسية".

يصور الخبير (ب.أ.ج.) هذا المأزق ببراعة: "هذا 'الحس الفني' لا يمكن اكتسابه من بيئة افتراضيّة. خوفي هو أن نُخرج طالبًا يعرف كيف يبرمج بشكل مثالي على الحاسوب، لكنه يقف عاجزًا أمام لوحة تحكم حقيقيّة". هذا "الحس الفنيّ"، الذي أطلقت عليه الخبيرة (أ.م.) اسم "الحس الهندسيّ"، يمثل جوهر التحدي البيداغوجي." ويتعمق هذا التحدي ليشمل القدرة على التعامل مع "فوضى الواقع" التي لا يمكن للمحاكاة نقلها، كما يصفها الخبير (ي.ع.) بوضوح:

"البيئة الصـناعية الحقيقية ليسـت مثالية. هناك اهتزازات، حرارة، أصـوات غير متوقعة. المختبر الحقيقي، ولو بشـكل مصـغر، يعطي الطالب جرعة من هذه الفوضـى المنظمة التي سـيواجهها في حياته المهنيّة".

كما يؤكد الخبير (ي. ع.) هذا التحدي التربوي بقوله: "نعم، لدي تحفظ تربوي جوهري ... هناك 'حس هندسي' لا يُمكن للمحاكاة أن تنقله، مثل الإحساس بمقاومة برغي عند ربطه، أو تشخيص مشكلة من صوت غير طبيعي لمحرك.

وهذا التحدي ليس مجرد تخوف نظري، بل هو دافع للابتكار في تصـــميم الحلول التعليمية. ففي دراسـة تطبيقية حديثة جدًا، قدم دسـوزا وآخرين(Dsouza et al., 2024) حلًا عمليًا لهذه المعضـلة من خلال تطبيق منهجية "المحاكاة المادية في الحلقة (Hardware-in-the-Loop - HiL)". في مشروعهم، لم يكتفوا بمحاكاة نظام صـــناعي باسـتخدام Factory I/O، بل قاموا بربطه بجهاز المتحكم المنطقي القابل للبرمجة الحقيقي. هذا النهج يسمح للطلاب ببرمجة واختبار الكود على جهاز مادي يتفاعل مع بيئة افتراضيّة، مما يجسّر الفجوة بين العالمين. إن هذا النموذج يؤكد أن الحل للتحدي البيداغوجي لا يكمن في رفض التقنية، بل في ابتكار طرق لدمجها مع الواقع المادي، وهو ما يدعم بقوة التوجه نحو "الدمج الذكي" الذي توصلت إليه هذه الدراسة.

وبهذا، فإن هذه الدراسة لا تكتفي بتأكيد وجود المعوقات التقنية التي ذكرتها دراسات سابقة(كالشهري وآخرون، 2023)، بل تضيف بُعدًا تحليليًا بتحديدها طبيعة هذا القلق التربوي العميق، والذي يجعل من عملية "الدمج" ضرورة حتمية. إذن، النتائج الكمية أبرزت "المانع من البدء" (المال)، بينما أبرزت النتائج النوعيّة "المانع من الاستبدال الكامل" (البيداغوجيا). وهذا القلق البيداغوجي هو ما يضعه الخبراء الإداريون في سياقه المؤسسي الصحيح عندما يؤكدون أن "التحدي الأكبر هو إدارة التغيير"(6

تكرارات) .فمن منظورهم، القضية ليست مجرد "شراء برامج"، بل هي "تغيير في الثقافة التعليمية"، وهو ما يتطلب رؤية استراتيجية تتجاوز توفير الموارد إلى قيادة تحول حقيقي في الممارسة التعليمية.

وهذا التوجّه نحو تجاوز التحديات من خلال فهم متطلبات التوظيف وتقديم حلول عمليّة، يتســـق تمامًا مع هدف دراســـة أبو عوه والعجمي (2023) التي لم تكتفِ بتشـــخيص الواقع، بل ســـعت إلى تقديم "تصـــوّر مقترح لتفعيل دور المعلمات"، مما يؤكد أن الحقل البحثي يتجه نحو التركيز على الحلول العمليّة والاستراتيجيّة.

وخلاصة القول، هناك إجماع مطلق عبر جميع الفئات على أن المختبرات الافتراضيّة لا يمكن، ولا يجب، أن تكون بديلًا كاملًا عن التجربة المادية. إنها تنجح في بناء المنطق والتصور، لكنها تفشل في بناء "الحس الهندسي" ومهارات التعامل مع الأعطال المادية غير المتوقعة. وبينما يركز المستخدمون على هذا التحدي البيداغوجي في ممارستهم اليومية، يحلل غير المستخدمين الأسباب الهيكلية التي تمنع البدء من الأساس. أما الإداريون فيرون أن كل هذه التحديات هي أعراض لمشكلة أعمق، وهي غياب ثقافة مؤسسية قادرة على إدارة التغيير وتبني الابتكار بشكل مستدام.

3.1.5 تفسير نتائج السؤال الثالث ومناقشتها

مناقشة نتائج السؤال الثالث: ما الآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال؟

على الرغم من التحديات، أبرزت النتائج إجماعًا استثنائيًا على قوة الآثار الإيجابية؛ حيث جاء تقدير المحور بدرجة "مرتفعة جدًا" وبمتوسط حسابي (Mean=4.32). وتفصيلًا لهذه النتيجة، تصدرت الفقرة (21) المتعلقة بـ "توفير بيئة تعليمية آمنة" المرتبة الأولى بأعلى متوسط حسابي في الدراسة (Mean=4.62)، تلتها مباشرة الفقرة (19) حول "تعميق الفهم للمفاهيم النظرية" بمتوسط حسابي

(Mean=4.58). كما حصلت فقرة "سد الفجوة مع سوق العمل" (الفقرة 25) على متوسط حسابي بدرجة مرتفعة (Mean=4.28).

وتعزو الباحثة تصدر "الأمان" للنتائج إلى طبيعة تخصص القوى الكهربائية والتحكم الصناعي الذي ينطوي على مخاطر حقيقية، مما يجعل البيئة الافتراضيّة ملاذًا آمنًا للتجريب، وهو ما عززته النتائج النوعيّة التي ركزت على "بيئة آمنة للتجريب والإبداع". أما الأثر المتعلق بتعميق الفهم (الفقرة 19)، فيفسره "التصور البصري" و"التفكير المنظومي" اللذان ظهرا بقوة في المقابلات (12 تكرارًا)؛ حيث تنقل المحاكاة الطالب من حفظ الرموز المجردة إلى رؤية النظام يعمل أمامه.

وهذا الإجماع ليس مجرد انطباع محلي، بل هو انعكاس لتوجه عالمي مثبت بالأدلة. ففي دراسة تحليلية بعديّة (Meta-analysis) حديثة شملت (46) دراسة، وجد لي وليانغ(Li & Liang, 2024) أن للمختبرات الافتراضيّة تأثيرًا إيجابيًا كبيرًا على مخرجات التعليم الهندسي، خاصة في تعزيز "الدافعية للتعلم" و"المشاركة في التعلم". وتُعزز هذه النتائج الإيجابية القوية ما توصلت إليه دراسة العميري وآخرين(2024) حول أهمية عامل "الأمان" كدافع رئيسي للتوجه نحو المختبرات الافتراضيّة، وهو ما يبرر تصدره لنتائج دراستنا الحالية.

كما تدعم الدراسات التجريبية الحديثة هذا التوجه، حتى في سياقات التعليم العام؛ ففي دراسة لي وتشونغو(Lee & Chongo, 2025)، التي استهدفت طلاب الصف الخامس في ماليزيا، أُثْبِتَت الفعالية المزدوجة للمختبرات الافتراضيّة في تحسين كل من التحصيل الأكاديمي والدافعية للتعلم معًا في موضوع الكهرباء. إذ أظهرت المجموعة التجريبية التي استخدمت المختبر الافتراضيّ تفوقًا ذا دلالة إحصائية على المجموعة الضابطة في كلا المتغيرين، مما يؤكد أن فوائد هذه التقنيات لا تقتصر على الجانب المعرفي، بل تمتد لتشمل الجانب الوجداني.

والتحليل العميق للبيانات النوعيّة يُظهر أن هذه الآثار ليست مُجرد تحسينات هامشيّة، بل هي "تحويليّة" بطبيعتها؛ حيث تنبع من تلاقي منظور "الخبرة الميدانيّة" للمستخدمين، ومنظور "التقويم الاستراتيجي" لغير المُستخدمين والإداريين. فمن منظور الخبرة الميدانية أولًا، يصف الخبراء المستخدمون سلسلة سببية واضحة تبدأ من الأثر التربوي على الطالب. وتنتهي بتحسين جودة الخريج. ففي جوهر العمليّة، تعمل "بيئة آمنة للتجريب والإبداع" (10 تكرارات) كمحفز مباشر يمكّن الطلاب من الوصول إلى "تعميق الفهم والتصور البصري" (13 تكرارًا)، وهو ما يتطابق مع النتيجة الكميّة للفقرة (19) وهي ثاني أعلى تقويم في الاستبانة إذ بلغ المتوسط الحسابي (Mean=4.58).

ويُلخص الخبير (ع. ق.) آلية هذا التحفيز بقوله: "القدرة على التجريب والابتكار في بيئة آمنة؛ حيث يمكنه اختبار سيناريوهات متعددة لحل مشكلة معينة دون خوف من إتلاف معدات باهظة الثمن. ويؤكد الخبير (م.أ.ع.) على النتيجة المُترتبة على ذلك قائلًا: "الطالب يرى الكود وهو يعمل في المختبر الافتراضيّ، أصبح قادرًا على تخيل كيف يعمل السيستم الحقيقي." وتتفق نتيجة "تعميق الفهم" هذه تمامًا مع دراسة مسوكوا وأوتشياما (Msukwa and Uchiyama, 2025) التي أكدت أن التصورات ثلاثية الأبعاد التي توفرها أدوات مثلSimulink Multibody تعزز فهم الطلاب للأنظمة الديناميكية بشكل يتجاوز الطرق التقليدية. وهذا الأثر الإيجابي على التحصيل والفهم يتفق مع نتائج دراسات تجريبية عديدة مثل دراسة الحوسني(2023) ودراسة خوليخمتوف وآخرين(Kholikhmatov et al., 2023).

والأهم من ذلك، أن هذا التعميق ليس مجرد حفظ للمعلومات، بل هو نقلة نوعيّة في طريقة التفكير نحو "التفكير المنظومي–System Thinking" وهي السمة الجوهريّة التي أشار إليها الخبراء (12 تكرارًا). ويشرح الخبير (ح.أ.ع.) هذه النقلة بقوله: "الفارق الأساسي هو الانتقال من التفكير الجزئي إلى التفكير المنظومي. في المختبر التقليدي، الطالب يركز على توصيل حساس أو تشغيل محرك. وَيُقدِمُ الخبير (خ.ع.) تعريفًا دقيقًا لهذا التحول في العقليّة: "أبرزها مهارتان ذهنيتان: الأولى

هي التفكير المنظومي؛ حيث يرى الصـــورة الكاملة وتفاعل المكونات مع بعضـــها... هذا 'التصـــوّر البصري' ينقل فهمه من مستوى المكون الواحد إلى مستوى 'النظام بأكمله".

ويُترجم هذا التحول التربوي العميق مباشـــرةً إلى أثر ملموس في زيادة "جاهزية الطالب لســـوق العمل" (التي حصـــلت على متوســـط مرتفع في الفقرة 25) وتأهيله لمهام صـــناعيّة واقعيّة، وهو ما وصفه الخبراء المستخدمون في هذه الدراسة بأنه سيحقق "ارتقاءً حقيقيًا وملموسًا" (12 تكرارًا) بجودة الخريج ويزيد من "جاهزيته لسوق العمل" (9 تكرارات). ويصف الخبير (م. د.) هذا الأثر بأنه "ارتقاء حقيقي وملموس. نحن لا نتحدث عن أداة مســـاعدة هامشـــيّة، بل عن أداة تُغير من طريقة تفكير الطالب". ويوضـــح ذلك الخبير (م. أ. ع.) "بالتأكيد، هو ارتقاء حقيقيّ وملموس بجودة الخريج. هو ليس مجرد أداة مُساعدة، بل هو جسر ينقل الطالب من عقليّة المُبرمج إلى عقليّة مهندس النظم."

وهذا يتوافق مع نتائج دراســات تطبيقية حديثة مثل دراســة Vargas et al.(2023)، التي أظهرت أن اسـتخدام برامج المحاكاة الصـناعية المتقدمة مثل Factory I/O يسـاهم بشـكل مباشـر في تحسـين مهارات الطلاب في حل المشكلات المعقدة وتأهيلهم بشكل أفضل للمنافسة في سوق العمل، وتتقاطع مع دراســة ريبرا وفيغاريو(2017) التي أشــارت إلى أهمية اكتســاب مهارة "التكليف الافتراضــيّ " (Virtual Commissioning)، وهي مهارة أساسية ومطلوبة في إطار الثورة الصناعية الرابعة.

وتُقدم الأدبيات العالميّة الحديثة أدلة تطبيقيّة على هذا الأثر؛ ففي مراجعة منهجيّة شـاملة، وجدت دراســة لي وليانغ(Li & Liang, 2024)، أن الأثر الأقوى للمختبرات الافتراضــيّة يظهر في تعزيز "دافعيّة الطلاب" و"انخراطهم في التعلُّم". كما أظهرت دراسـة شـيمودوغونتا وآخرين(Chemudugunta et al., 2025)، أن اســتخدام Factory I/O يُحقق فوائد كبيرة ويُوفر رؤى قيّمة لتدريب الكوادر على الابتكار في المصــانع الذكيّة المتوافقة مع معايير الصــناعة 4.0. بينما أظهرت دراســة ســيتيانا وآخرين(Setiana et al., 2025) أن الأنظمة المصممة بهذه الأدوات يمكن أن تحقق نسبة نجاح تصل

إلى 90%، مما يُثبتُ أن الأثر يتجاوز الجانب التعليمي النظري ليصل إلى إكساب الطلاب مهارات عملية مطلوبة في سوق العمل الحديث. ويتجسد هذا الأثر العملي في قدرة الطالب على بناء حافظة مشاريع مرئية ومقنعة، كما يروي الخبير (م.أ.ع.) في قصة النجاح التالية: "هذا الطالب... عرض على صاحب العمل فيديو لمشروعه... هذا الموقف لم يكن ليتحقق... لأنه لم يكن ليملك 'إثباتًا مرئيًا' ومقنعا بهذا الشكل على مهاراته".

ثانيًا، وفي موازاة ذلك تمامًا، يأتي منظور التقويم الاستراتيجيّ. فالخبراء غير المستخدمين، رغم عدم ممارستهم للتقنيّة، يركزون بشكل كبير على "الدمج المدروس وتقويم الأثر" (23 تكرارًا). هذا الكود، وهو الأعلى تكرارًا، يكشف أنهم لا يفكرون في المزايا بشكل عشوائي، بل توصلوا من خلال التقويم النظري إلى أن الدمج المخطط له سيحدث أثرًا إيجابيًا كبيرًا .وهذه الرؤية المنهجية هي ما تدعم نظرتهم المتفائلة للتقنية كـ"جسر نحو المستقبل" (19 تكرارًا).

وأخيرًا، يلتقي هذان المنظوران عند المستوى المؤسسي، مما يؤكد أن هذه الآثار ليست فوائد تعليميّة معزولة، بل كجزء لا يتجزأ من متطلبات العصر الرقميّ، وهو ما يتسق مع دراسة أبو عوه والعجمي(2023) التي ربطت بشكل مباشر بين تفعيل المختبرات الافتراضيّة وبين "متطلبات التحول الرقميّ. فالأثر يتجاوز الطالب ليصل إلى المؤسسة؛ حيث يرى الإداريون أن هذه التقنيّة تحقق فوائد استراتيجيّة كـ"تعزيز العلامة التجارية والجاذبية" (7 تكرارات) لسمعة المؤسسة، ويصفون الأثر المحتمل بأنه "تحويليّ" (5 تكرارات). ويوضح ع. خ. أحد الخبراء الإداريين هذا البعد بقوله:

"انطباعي الأولي هو أن هذه ليست مجرد 'أداة تعليمية' جديدة، بل هي 'منصة استراتيجية'... الفرصة لا تكمن فقط في توفير تكاليف المختبرات المادية، بل في تعزيز علامتنا التجارية كمؤسسة مبتكرة."

تتفق هذه الرؤية مع دراسة وانغ وليو(Wang & Liu, 2024) وتدعم النماذج النظرية للتعلم التجريبي والواقعي وبهذا. فإن قوة الآثار المتوقعة لا تنبع فقط من شهادة المستخدمين، بل تتعزز بشكل كبير من خلال إجماع الخبراء الآخرين الذين، ومن منظور مختلف، وصلوا إلى نفس الاستنتاج حول قيمتها التحويليّة، مما يُبرر التوصية بتبني هذه التقنيات كاستثمار ضروري في المستقبل.

وخلاصة القول، بالرغم من التحفظات على المهارات المفقودة، هناك اتفاق واسع على أن "الدمج الذكي" بين المختبرات الافتراضيّة والتقليدية لا يحسن جودة الخريج فحسب، بل يرتقي بها بشكل جوهري. المستخدمون يرون هذا الأثر في طلابهم، وغير المستخدمين يتوقعونه كحل مثالي، والإداريون يرونه استثمارًا ذا عائد استراتيجي على سمعة المؤسسة.

4.1.5 تفسير نتائج السؤال الرابع ومناقشتها

مناقشة نتائج السؤال الرابع: ما التصور المقترح لإنشاء مختبر افتراضيّ وتوظيفه في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة في الجامعات الفلسطينيّة؟

- يُمثل التصور المقترح "الثمرة النهائية" لهذه الدراسة؛ إذ جاء استجابةً علمية وعملية لواقع الجامعات الفلسطينيّة كما كشفه السؤال الأول، وحلًا جذريًا للتحديات البيداغوجية والمادية التي أظهرها السؤال الثاني. لذا، لم يكتفِ التصور بالجانب التقني، بل قدم إطارًا بيداغوجيًا متكاملًا تحت مسمى "دورة التعلم المتكاملة". ويرتكز هذا التصور على فلسفة "الدمج الذكي" (Smart Integration) بين البيئة الافتراضيّة والمادية، رافضًا فكرة الإحلال الكامل، بهدف تعزيز جودة مخرجات التعليم الهندسي.
- وتعزو الباحثة تبني هذا النهج التكاملي المتمثل في التصور القائم على التكامل (Hybrid/Blended Approach) إلى طبيعة المهارات المركبة المطلوبة في سوق العمل لبرمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؛ فهي تتطلب قدرات عقلية عليا (كالتفكير المنظوميّ، والتصميم المنطقيّ) يمكن

تنميتها بفاعلية وكفاءة عبر المحاكاة، وفي الوقت ذاته تتطلب مهارات حسيّة وميدانيّة (كتوصيل الأسلاك، التعامل مع ضجيج البيئة الصناعيّة) لا يمكن اكتسابها إلا في المختبر التقليدي.

- وفي ضوء ربط هذا التصور بالأدبيات والدراسات السابقة، يمكن مناقشة النتائج من خلال المحاور التالية:

أولًا: تأكيد فلسفة الدمج والتكامل (الافتراضيّ مع المادي):

- يتفق المبدأ الحاكم للتصور المقترح (أفضل ما في العالمين) بشكل تام مع النتائج التي توصلت إليها دراسة بافلو وزكريا (Pavlou & Zacharia, 2024)، التي أكدت أن كلًا من المختبرات المادية والافتراضيّة يمتلك ميزات لا يمكن للآخر تعويضها، وأوصت صراحة بضرورة الدمج بينهما. كما يدعم هذا التوجه نتائج التحليل البعدي الضخم الذي أجراه لي وليانغ (Li & Liang, 2024)، والذي خلص إلى أن المختبرات الافتراضيّة، رغم كفاءتها العالية، لا ينبغي أن تكون بديلًا كليًا، بل يجب تبني "الدمج الواعي" لتعزيز الجوانب المعرفية والوجدانية معًا. وهذا يبرر لماذا لم يذهب التصور المقترح نحو إلغاء المختبر التقليدي، بل جعله المرحلة الثانية في "دورة التعلم" بعد التأسيس الافتراضيّ.

ثانيًا: الاتساق مع التوجهات البيداغوجية الحديثة (OBE):

- إن تركيز التصور المقترح على "التعليم القائم على المخرجات" (OBE) وتصميم المختبر كمنظومة شاملة، يتناغم بقوة مع دعوة دراسة تيركاج وآخرين(Terkaj et al., 2024)، التي شددت على ضرورة الانتقال من "استخدام الأداة" إلى "تصميم إطار العمل" الذي يُراعي أصحاب المصلحة وسيناريوهات الاستخدام. كذلك، يتفق الهيكل التنظيمي للتصور مع دراسة سيد وآخرين(Syeed et al., 2022) التي قدمت إطار عمل لضمان جودة المخرجات وفق معايير الاعتماد الدولي. هذا التوافق يمنح

التصور المقترح مصداقية أكاديمية عالية ويجعله قابلًا للتطبيق ضمن معايير الجودة في الجامعات الفلسطينيّة.

ثالثًا: واقعية الأدوات المقترحة ومواءمتها للسياق المحلي والعالمي (Factory I/O):

- لقد تبنى التصور المقترح اعتماد بيئة (Factory I/O) كمنصة أساسية للمحاكاة، وهذا الاختيار لم يأتِ تعسفيًا، بل جاء استجابةً مباشرة لنتائج الدراسة الميدانية التي أظهرت شبه إجماع بين الخبراء المستخدمين (عينة الدراسة) على أن هذا البرنامج يمثل نقطة الانطلاق المثلى لطلاب الجامعات الفلسطينيّة؛ نظرًا لجمعه بين سهولة الاستخدام والواقعية الصناعية، ومناسبته لمستويات الدبلوم والبكالوريوس.
- وتُعد هذه النتيجة الميدانية (إجماع الخبراء المحليين) دليلًا قويًا على صدق التصور المقترح، كما أنها تتلاقى وتتعضد مع نتائج الأدبيات العالمية؛ حيث اتفقت رؤية الخبراء في هذه الدراسة مع ما توصلت إليه دراسة فارغاس هيرناندیز وآخرين(Vargas et al., 2023) ودراسة ريبرا وفيغاريو(Riera & Vigário, 2017)، اللتان أكدتا أن (Factory I/O) توفر بيئة تعليمية نموذجية لتدريس الأتمتة ومحاكاة الأنظمة المعقدة. وبذلك، فإن التصور المقترح يستند إلى ركيزتين قويتين: الحاجة والقبول المحلي (من واقع الميدان وذلك بإجماع الخبراء)، والاعتمادية العلمية (من واقع الدراسات السابقة وتجارب الجامعات العالمية).

رابعًا: معالجة التحديات وتوفير بيئة آمنة:

- جاءت مراحل التصور (لاسيما المرحلة الأولى: بناء المخططات المعرفية) استجابةً للتحديات التي أبرزتها الدراسات السابقة مثل الخوف من إتلاف الأجهزة أو نقص المعدات، أي عامل "الأمان" تحديدًا الذي تصدّر نتائج السؤال الثالث في هذه الدراسة. ويتفق هذا التوجه مع دراسة أبو منسي(2016) ودراسة زيلين تشو(Zelin Zhu, 2017)؛ حيث أشارت النتائج إلى أن البدء بالمحاكاة

يقلل الأخطاء في المختبر الحقيقي ويحرر الطالب من الخوف من إتلاف الأجهزة، مما يتيح له التركيز على بناء المنطق البرمجي، وهو ما يعالج "الفجوة الحسيّة" بشكل متدرج.

خامسًا: شمولية الخطة التنفيذيّة:

- تتميز الخطة التنفيذية للتصور بمراعاتها للمتطلبات البشرية والتقنية (تدريب الكادر، البنية التحتية)، وهو ما يعالج القصور المؤسسي الذي كشفه السؤال الأول، ويتوافق مع توصيات دراسات الحربي(2023) والشهري وآخرون(2023) وعثمان وشتوكر(Othman & Stöcker, 2022)، والتي أجمعت على أن نجاح المختبرات الافتراضيّة لا يعتمد على البرمجيات فحسب، بل يتطلب تأهيلًا للكادر وتجهيزًا للبنية التحتية، وهو ما أفرد له التصور حيزًا كبيرًا في محور "المدخلات" و"العمليات".

الخلاصة:

- يُمثل التصور المقترح نموذجًا تطبيقيًا يجمع بين أصالة التنظير التربوي (النظريات البنائية والحمل المعرفي) وبين حداثة التطبيق التقني (المحاكاة الصناعية)، مدعومًا بشواهد قوية من الأدبيات السابقة التي تؤكد أن مستقبل تعليم الأتمتة يكمن في النماذج الهجينة التي تمنح الطالب مهارات القرن الحادي والعشرين دون التفريط في الأسس الهندسية العملية. والخلاصة النهائية التي تبرز من مناقشة جميع أسئلة الدراسة، هي وجود توافق استثنائي بين جميع الأطراف على أن المستقبل لا يكمن في الاختيار بين العالمين الافتراضيّ والمادي، بل في "التكامل الذكي" بينهما. والانطلاق، كما يقترح الخبراء، يجب أن يكون عبر مشاريع ريادية مدروسة، يقودها أكاديميون متحمسون يمثلون "رواد التغيير"، وبدعم مؤسسي حقيقي يركز على التدريب والاستدامة.

2.5 تفسير نتائج فرضيّات الدراسة ومناقشتها

1.2.5 تفسير نتائج الفرضيّة الأولى (متغير طبيعة العمل) ومناقشتها

الفرضيّة الأولى: لا توجد فروق ذات دلالة إحصائيّة عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في متوسطات استجابات أفراد عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تُعزى لمتغير طبيعة العمل (أكاديمي- إداري).

أفضت النتائج إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائيّة (Sig. = 0.121) في تقدير واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة بين الأكاديميين والإداريين، وهو ما يُعزى إلى وجود "وعي مؤسسي مشترك" وفهم متقارب لواقع البنية التحتية والتحديات التقنية داخل الجامعات الفلسطينيّة؛ فالرؤية موحدة حيث يتقاطع تشخيص الأكاديمي الذي يلمس الاحتياج الميداني داخل القاعات، مع رؤية الإداري الذي يقر بهذا الواقع ويعزوه للمحددات المالية أو المؤسسية، مما ينفي وجود فجوة في التصور بين الطرفين. وتتفق هذه النتيجة بوضوح مع ما توصلت إليه دراسة زهراني(2022) التي أكدت تلاقي الممارسة الميدانية والإشراف الإداري عند نفس التصور للواقع، كما تتقاطع مع دراستي بلفقيه(2020) وتركي والسبو(2022) اللتين لم ترصدا أثرًا للمتغيرات الوظيفية على تقدير الواقع؛ ويُعد هذا الاتفاق في التشخيص بين الكادرين مؤشرًا إيجابيًا ينفي "الإنكار الإداري" للتحديات، ويمهد أرضية صلبة لبناء حلول مشتركة وتبني المقترحات التطويرية مستقبلًا.

2.2.5 تفسير نتائج الفرضيّة الثانيّة (متغير سنوات الخبرة السابقة) ومناقشتها

الفرضيّة الثانية: لا توجد فروق ذات دلالة إحصائيّة عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في متوسطات استجابات أفراد عينة الدراسة حول واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة تُعزى لمتغير سنوات الخبرة

في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (أقل من 5 سنوات، من 5–10 سنوات، أكثر من 10 سنوات).

خلُصت النتائج إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية (Sig. = 0.243) تُعزى لسنوات الخبرة، وهو ما تفسره الباحثة بأن تقويم تقنيات المختبرات الافتراضيّة في مجال المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة لا يخضع لمنطق "الفجوة بين الأجيال"؛ فالرؤية موحدة بين الخبراء الجدد وذوي الخبرة الطويلة، مما يدل على أن العوامل المؤثرة في واقع التوظيف –كالبنية التحتية والاحتياجات التدريبية– هي حقائق موضوعية ملموسة تفرض نفسها على الجميع، وليست قناعات ذاتية تتغير بتراكم السنين. وتكتسب هذه النتيجة قوة وموثوقية لاتساقها التام مع الغالبية العظمى من الدراسات السابقة مثل (العتيبي وعكيري، 2024؛ زهراني، 2022؛ تركي والسبو، 2022؛ وكبير وعبد المنعم، 2017)، التي أجمعت في سياقات مختلفة على حيادية متغير الخبرة؛ ويؤكد هذا الإجماع البحثي أن دمج هذه التقنيات لا يواجه مقاومة مرتبطة بالخلفية الزمنية للخبراء، بل يواجه تحديات تقنية ومؤسسية يدركها الجميع بتقدير واقعي مشترك.

3.5 الاستنتاجات

بناءً على عرض النتائج ومناقشتها، توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات التالية:

1. إن واقع توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة بالجامعات الفلسطينيّة يتسم بفجوة واضحة بين الإمكانات النظرية والتطبيق الفعلي؛ فالتبني الحالي مدفوع بمبادرات فردية ناجحة تصطدم بغياب الدعم المؤسسي الممنهج والاستراتيجي اللازم لنقلها من مرحلة التجريب إلى مرحلة التكامل، مما يجعله واقعًا هشًا وغير مستدام.

2. إن التحدي الأبرز الذي يعوّق التبني الواسع النطاق ليس تقنيًا أو ماليًا فحسب، بل هو تحدٍ بيداغوجي جوهري يتمثل في "الفجوة الحسية"؛ أي عدم قدرة المحاكاة على بناء "الحس الهندسي" ومهارات تشخيص الأعطال المادية، وهو ما يجعل المختبر التقليدي مكونًا لا يمكن الاستغناء عنه، ويعتبر هذا التحدي عالميًا؛ حيث بدأت تظهر له حلول مبتكرة مثل "المحاكاة الماديّة في الحلقة التي تدمج بين العالمين (HiL)"
3. تبلورت لدى خبراء المجال فلسفة استخدام واضحة وراسخة، وهي فلسفة "التكامل الذكي"، وهي فلسفة تنظر للمختبرات الافتراضيّة كأداة مكملة ومعززة للمختبرات التقليدية، وتبني هذه الفلسفة مع رفض قاطع لفكرة الإحلال الكامل –إلا في حالة الإغلاقات التامة ضمن هذه الأوضاع التي تمر بها بلادنا– يُعتبر الحل الوحيد والمُجمع عليه للتخلص من هذا التحدي وتحقيق الآثار الإيجابيّة التحويليّة، وذلك للحفاظ على التوازن بين بناء الفكر المنظومي والمهارات الحسيّة العمليّة، وهو ما يتفق مع التوجهات العالميّة التي تؤكد على ضرورة الجمع بين المحاكاة والتجربة الماديّة.
4. تُبرهن نتائج الدراسة على أنَّ الأثر المتوقع لدمج المختبرات الافتراضيّة يتجاوز التحسين الشكلي إلى كونه أثرًا "تحويليًا" (Transformational) في العملية التعليمية؛ إذ ينقل الطالب من التفكير الجزئي المحدود إلى "التفكير المنظومي" (System Thinking) الشامل، مما يعزز جاهزيته لمتطلبات الثورة الصناعية الرابعة، شريطة أن يتم ذلك ضمن نموذج تكاملي لا يُلغي التجربة المادية.

4.5 التوصيات

في ضوء ما سبق، توصي الدراسة بما يأتي:

1.4.5 توصيات موجهة إلى الإدارات العليا وصناع القرار في الجامعات

- تبني رؤية استراتيجيّة للتمكين الفعليّ: الانتقال من سياسة "التشجيع بدون تمكين" إلى وضع رؤية استراتيجية واضحة ومفصلّة لدمج تقنيات المختبرات الافتراضيّة والمحاكاة. يجب أن تتضمن هذه الخطة تخصيص ميزانيات محددة لإنشاء مشاريع رياديّة (Pilot Projects) تتبنى أُطر عمل منهجيّة ناجحة كما في دراسة(Vargas et al., 2023) مع توفير البُنية التحتيّة اللازمة من أجهزة وتراخيص برمجيّة.
- دعم "رواد التغيير" لقيادة الابتكار: تحديد الأكاديميين والفنيين المتحمسين داخل المؤسسة وتقديم الدعم المالي والإداري الكامل لهم. هؤلاء هم من سيقودون المشاريع الريادية الأولية التي يمكن قياس أثرها، ومن ثم تعميم قصص نجاحها لتكون حافزًا للآخرين.
- الاستثمار في الكادر البشري كأولوية قصوى: تبني سياسة "الاستثمار في البشر قبل الحجر"؛ حيث يُوَجَّهُ الاستثمار بشكل أساسي لتطوير وتدريب الكادر الأكاديمي والفني. يجب توفير دورات تدريبية متقدمة وورش عمل مستمرة لضمان الاستخدام الفعال لهذه التقنيات.
- تبني سياسات لتوفير البنية التحتية اللازمة، بما في ذلك تحديث أجهزة المختبرات وتوفير تراخيص برمجية مركزية.
- تبني سياسات تحفيزية مُستدامة وواضحة لأعضاء هيئة التدريس المبتكرين، من خلال تقدير جهودهم في تطوير المحتوى الرقميّ والتجارب الافتراضيّة ضمن معايير الترقية والتقويم الأكاديمي السنوي.

2.4.5 توصيات موجهة إلى الأقسام الأكاديمية وأعضاء هيئة التدريس

- بناء نظام بيئي للابتكار (Innovation Ecosystem) محلي المحتوى:
  - داخليًا: تأسيس "مجتمع ممارسة (Community of Practice) "بين أعضاء هيئة التدريس لتبادل الخبرات، وتوحيد الجهود، وتطوير محتوى تعليمي يتناسب مع السياق الصناعي المحلي.
  - خارجيًا: تشكيل فرق عمل من أعضاء هيئة التدريس والخبراء الصناعيين لتصميم "سيناريوهات محاكاة واقعيّة" تحاكي مشاكل وتحديات حقيقيّة، مما يضمن ملاءمة المحتوى التعليمي لاحتياجات سوق العمل.
- التركيز على البيداغوجيا قبل التكنولوجيا: عقد ورشات عمل تدريبية تركز على الجانب التربويّ (البيداغوجيّ) المتعلق بكيفية تصميم تجارب تعليمية مدمجة وفعالة، بدلًا من التركيز على الجانب التقنيّ فقط.
- تبني فلسفة "التكامل الذكيّ" في تصميم المناهج: إعادة تصميم الخطط الدراسيّة بحيث تُستخدم المختبرات الافتراضيّة للتحضير المُسبق، وبناء الفهم المنظوميّ، والتجريب الآمن والمعقد. بينما تُخصص المختبرات التقليدية للتطبيق العمليّ وبناء المهارات الحسيّة، واكتساب الخبرة الماديّة الملموسة. يمكن تبني فلسفة "التكامل الذكي" من خلال تطبيق نماذج بيداغوجيّة مثل "دورة التعلم المتكاملة"، واستكشاف طرق دمج متقدمة مثل (Hardware-in-the-Loop) كما أظهرت دراسة(Dsouza et al., 2024) لتعميق التجربة العمليّة.
- بناء حجة عمل مقنعة للحصول على الدعم: عند السعي للحصول على الموارد، يجب على الأقسام الأكاديمية إعداد "حجة عمل (Business Case)" واضحة للإدارة العليا. يجب أن توضح هذه الحجة العائد المتوقع على الاستثمار (ROI) من الناحية التعليميّة (تحسين مُخرجات التعلُّم) والاستراتيجيّة (تعزيز سمعة القسم والجامعة).

- البدء بمنصة محاكاة موحدة ومناسبة للمبتدئين، تتميز بسهولة الاستخدام وتوافقها مع متطلبات الصناعة المحليّة، كنقطة انطلاق لتوحيد الجهود وتسهيل عمليّة تدريب الكوادر والطلاب قبل الانتقال إلى برمجيات أكثر تخصصًا.

3.4.5 توصيات موجهة للباحثين في المستقبل

- إجراء دراسات تجريبية تقيس بشكل كمي أثر استخدام نموذج "الدمج" المقترح على مهارات محددة لدى الطلاب.
- دراسة تصورات الطلاب أنفسهم حول تجربتهم مع المختبرات الافتراضيّة.
- إجراء دراسة مقارنة لفعالية منصات المختبرات الافتراضيّة المختلفة مثل (Factory I/O, Automation Studio) في تحقيق أهداف تعليمية محددة ضمن السياق المحلي.
- بحث سبل استخدام تقنيات الواقع الممتد (XR) وكذلك بحث سُبل استخدام تقنيات الجيل القادم مثل التوأم الرقمي (Digital Twin) كما أشارت دراسة(Terkaj et al., 2024).

5.5 مُقترحات لدراسات مستقبليّة

للبناء على نتائج هذه الدراسة، يُقترح إجراء الأبحاث التاليّة:

1. دراسة تجريبيّة تقارن بين الأداء الأكاديمي والمهاري لمجموعتين من الطلاب، إحداهما تدرس وفق النموذج التقليديّ والأخرى وفق نموذج "الدمج الذكي" المُقترح.

2. دراسة تتبُعيه (Longitudinal Study) للخريجين الذين تعرضوا لنموذج التعليم المدمج لقياس مدى جاهزيتهم الفعليّة لسوق العمل وأدائهم الوظيفيّ على المدى الطويل.

3. دراسة تستكشف تصورات الطلاب أنفسهم حول تجربة التعلُّم باستخدام المختبرات الافتراضيّة، لقياس أثرها على دافعيتهم وتفاعلهم.

المصادر والمراجع

المراجع العربيّة

المراجع الأجنبيّة

أولًا: المراجع العربيّة

أبو جزر، فدوى. (2024). درجة استخدام المعامل الافتراضيّة في تدريس الفيزياء ومعوقاتها من وجهة نظر معلمات الفيزياء في محافظة العقبة، **مجلة جامعة العلوم والتكنولوجيا، 17**(59): 64-82.

أبو ربع، جهاد. (2024). واقع استخدام المختبرات الافتراضيّة في التدريس بالجامعة الأردنية من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس، **المجلة التربوية الأردنية،** (9): 421-444.

أبو عوه، أفراح والعجمي، لبنى. (2023). تصوّر مقترح لتفعيل دور معلمات العلوم في استخدام المعامل الافتراضيّة وفق متطلبات التحول الرقميّ لرؤية المملكة العربيّة السعوديّة 2023. **دراسات عربيّة في التربية وعلم النفس،** (146): 109-130.

أبو منسي، مراد. (2016). **فاعلية المحاكاة الإلكترونيّة في تنمية مهارات التحكم المنطقي البرمجي لدى طلاب المهن الهندسيّة بكلية فلسطين التقنيّة** (رسالة ماجستير غير منشورة)، كلية التربيّة، الجامعة الإسلاميّة، غزّة، فلسطين.

أحمد، رضوان والزميتي، أحمد وعبد الله، هاني وسليمان، صفيّة. (2022). تصوّر مقترح لإنشاء المعامل الافتراضيّة بكليّة التربية بالعريش في ضوء تحديات جائحة كورونا. **مجلة كليّة التربيّة، 10**(31): 276-301.

أحمد، هبة. (2020). استخدام بيئة تعلم افتراضيّة في تدريس الاقتصاد المنزلي وأثرها في تنمية التحصيل المعرفي ومهارات التنظيم الذاتي وتحسين جودة الحياة لدى طالبات شعبة التأهيل التربوي بكلية التربية بسوهاج، **مجلة دراسات تربوية واجتماعية، 26**(21): 487-547.

الأحمر، هيفاء. (2019). بيئات التعلم الافتراضيّة وتقنياتها نحو آفاق جديدة لرقمنة التعليم عربيًّا، **مجلة الجامعة، 3**(21): 153-174.

أمين، وائل. (2015). **نظام إدارة المنشآت باستخدام الحاكمات القابلة للبرمجة والتحكم به عن طريق الاسكادا.** (رسالة ماجستير غير منشورة). كلية علوم الحاسوب وتقانة المعلومات، جامعة النيلين، الخرطوم، السودان.

بحري، خالصة. (2024). دور المختبر الافتراضيّ الغامر IVRL في إكساب طالبات الصف التاسع الأساسي المفاهيم الفيزيائية وتنمية تفكيرهن البصري ومهارات الاستقصاء العلمي. **مجلة العلوم التربوية**، جامعة الملك سعود، **35**(3): 355-382.

بجيلي، فاطمة. (2019). واقع الاستفادة من المعامل الافتراضيّة في تدريس العلوم بالمرحلة الثانوية في محافظة جدة، **مجلة العلوم التربوية والنفسية، 3**(20): 121-140.

برناوي، مروج وبارعيدة، إيمان. (2022). أثر استخدام منصة تعليمية الكترونية قائمة على الصور التفاعلية في تنمية مهارات التفكير المكاني لدى تلميذات المرحلة الابتدائية، **مجلة التربية النوعيّة،** (25): 14-35.

البسام، دلال، وعمر، سوزان. (2023). استخدام المعامل الافتراضيّة في التدريس ومعوقاتها من وجهة نظر معلمات الفيزياء في المرحلة الثانوية. **المجلة السعودية للعلوم التربوية،** (11): 1-12.

بلفقيه، صالح (2020). معوقات استخدام المختبرات الافتراضيّة لدى معلمي العلوم الطبيعية بالمرحلة الثانوية بمدينة المكلا، **مجلة الريان للعلوم الإنسانية والتطبيقية،** 3(2): 237-277.

ثائر، أحمد. (2016). تصميم وتنفيذ نظام مراقبة وتحكم مبرمج بعمل قبانات قسم مطاحن المواد الأولية في شركة طرطوس لصناعة الاسمنت. **مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية،** 38(5): 361-373.

الثبيتي، عبد الله وملكاوي، آمال وجورانة، طارق. (2016). **تصورات معلمي العلوم للمرحلة الثانوية حول توظيف المختبر الافتراضيّ في تدريس العلوم في محافظة القريات،** (رسالة ماجستير غير منشورة)، كلية التربية، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.

الحربي، عبد الله. (2023). تصوّر مُقترح لتفعيل استخدام المعامل الافتراضيّة في تدريس العلوم من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس بجامعة القصيم. **مجلة العلوم التربويّة والدراسات الإنسانيّة،** (33): 175-206.

حرحوش، معتز. (2023). فاعلية استراتيجية العرض التركيبي في تنمية التحصيل الدراسي في مادة Programmable Logic Controller" PLC" في قسم الأجهزة الطبية. **المجلة العربيّة للعلوم الإنسانية والاجتماعية،** (22): 1-28.

حكمي، عثمان وأبوشملة، السيف. (2023). المختبرات الافتراضيّة البديل الناجح في تحصيل طلبة المواد العلمية بالمرحلة الثانوية. **المجلة العربيّة للقياس والتقويم، 4**(7): 247-252.

الحوسني، عمر. (2023). **أثر استخدام تطبيقات المختبرات الافتراضيّة داخل الغرفة الصفية في تنمية التحصيل العلمي لدى طلبة الصف الثامن الأساسي في مادة العلوم.** (رسالة ماجستير منشورة). الجامعة العربيّة المفتوحة، مسقط، عُمان.

الخشان، سعود. (2023). **أثر استخدام المختبرات الافتراضيّة في التحصيل واكتساب المفاهيم البرمجية في مادة الحاسوب.** (رسالة ماجستير غير منشورة)، جامعة آل البيت، المفرق، الأردن.

الدليمي، هند. (2018). أثر استخدام المختبرات الافتراضيّة في تنمية المهارات المعملية لمعلم الأحياء لدى طلاب كليات التربية بالعراق. **المجلة العربيّة لتربية النوعيّة،** (2): 264-281.

الربيعان، عبد الله والمطيري، صفية. (2023). مستوى معرفة وتطبيق معلمات التعليم العام لمبادئ التصميم الشامل للتعلم، **مجلة الآداب للدراسات التربوية والنفسية،** جامعة ذمار، **6**(2): 307-358.

الرفيعي، بشرى. (2021). فاعلية المختبرات الافتراضيّة في ظل التعليم عن بعد في تنمية مهارات الأداء المعملي لدى طالبات المرحلة الثانوية في الكيمياء في المدينة المنورة. **المجلة العربيّة للتربية النوعيّة،** 5(20): 119-156.

الرومي، أحمد والقحطاني، هند. (2022). مهاراتُ تَوظِيفِ تَطْبِيقَاتِ الذَّكَاءِ الاصطناعي فِي تَحْسِينِ نَوَاتِجِ التَّعَلُّمِ لَدَى طُلَّاب الْمَرْحَلَةِ الثَّانَوِيَّةِ فِي ضَوْءِ التَّجَارِبِ الْعَالَمِيَّة، **مجلة العلوم التربوية،** جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، (33): 251- 358.

زهراني، أريج. (2022). درجة توظيف المعامل الافتراضيّة في تدريس المفاهيم العلمية لطالبات المرحلة المتوسطة من وجهة نظر المعلمات والمشرفات بمدينة مكة المكرمة. **المجلة العربيّة للتربية النوعيّة،** 6(22): 23-64.

الزهراني، مشاعل. (2023). فاعلية استخدام المختبرات الافتراضيّة في إكساب مهارات التفكير العلمي وتنمية الاتجاه نحو المختبر لطالبات الصف الثالث متوسط. **مركز رفاد للدراسات والأبحاث. 12**(6): 1100 – 1125. https://doi.org/10.31559/EPS2023.12.6.3

السباب، أزهار. (2021). **الدماغ المعرفي وفسلجة الدماغ– الانتباه والإدراك ومعالجة معلومات في الذاكرة، العبء المعرفي والسعة العقلية**، دار ديبونو للنشر والطباعة والتوزيع، عمان، الأردن.

الشبل، منال. (2018). **وحدات التعلم الرقمية وتنمية التفكير الابتكاري في الرياضيات**، عمان: دار ديبونو للنشر والتوزيع.

الشرمان، عاطف. (2019). **تصميم التعليم للمحتوى الرقمي**. عمان: دار المسيرة للنشر والطباعة والتوزيع.

الشرمان، وسام. (2020). **واقع التعليم المهنيّ في الأردن: مشكلات وحلول من وجهة نظر الخبراء والمشرفين عليه** [أطروحة دكتوراه غير منشورة]، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.

شركة يات لحلول التعليم. (2020). التحكم التقليدي في المحركات. **مجلة مصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهني**، 103.

الشمراني، عليه. (2018). فاعلية بيئة افتراضيّة ثلاثية الأبعاد (sloodle) في تنمية مهارات التجارب العملية في مادة الفيزياء لدى طالبات الصف الثاني ثانوي في مدينة جدة، **مجلة العلوم التربوية والنفسية**، المركز القومي للبحوث غزة، 2(8): 56–73.

الشمري، ابتسام. (2018). **المتحكمات الدقيقة**، السعودية: مكتبة الملك فهد الوطنية.

الشهراني، إيمان وحسن، هالة. (2022). أثر برنامج مقترح قائم على تطبيقات المعامل الافتراضيّة في تنمية المهارات المختبرية للكيمياء لدى طالبات الصف الثاني ثانوي في محافظة بيشة. **مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية**، (24): 154-183.

الشهري، باسم والزايدي، فهيد والقرني، خالد والغامدي، ضيف الله والروقي، محمد. (2024). معوقات استخدام المختبر الافتراضيّ في تدريس مادة العلوم للمرحلة المتوسطة من وجهة نظر معلمي مادة العلوم بإدارة تعليم الطائف، **مجلة الفنون والأدب والإنسانيات والاجتماع**، (108): 213- 222. https://doi.org/10.33193/JALHSS.108.2024.1160

شواهين، خير. (2019). **الواقع الافتراضيّ والواقع المعزز**، (ط.1)، إربد: عالم الكتب الحديث للنشر والتوزيع.

صالح، جمال. (2023). فاعلية المختبرات الافتراضيّة في تنمية المهارات العملية بوحدة الكهرباء التيارية والكهرومغناطيسية في مادة الفيزياء لدى طلاب الصف الثالث الثانوي. **مجلة التربية، 197**(5): 325 – 368.

صبرة، عفاف. (2023). د**رجة استخدام معلمات العلوم للمختبرات الافتراضيّة براكسيلابس "Praxilabs" في مدارس عمان.** (رسالة ماجستير غير منشورة)، جامعة الشرق الأوسط، عمان، الأردن.

ضاحي، جاسم. (2025). فاعلية أسلوب التعلم البنائي في رفع مستوى التفكير العلمي لدى طلبة الصف الثالث المتوسط بمادة علم الأحياء. **مجلة الجامعة العراقيّة، 73**(2): 399-400.

طراد، هانم. (2021). فاعلية استخدام برنامج إلكتروني قائم على المحاكاة في تنمية مهارات مادة اختبار وكشف أعطال العناصر والدوائر الإلكترونيّة لطلاب كلية التعليم الصناعي، **مجلة دراسات تربوية واجتماعية، 27**(9): 177–210.

عبد الحليم، الشيماء. (2017). الواقع الافتراضيّ وذوي صعوبات التعلم، المجلة العلمية لكلية رياض الأطفال. **المجلة العلمية لكلية التربية للطفولة المبكرة**، جامعة المنصورة، **3**(4): 601–634.

العتيبي، سارة وعكيري، عبير. (2024). درجة توظيف معلمات العلوم بالمرحلة الثانوية لمختبرات العلوم الافتراضيّة واتجاهاتهن نحوها بمدينة الطائف. **مجلة دراسات عربية في التربية وعلم النفس**، (150): 379–422.

عطيفي، زينب والمليجي، رهام. (2015). استخدام الواقع الافتراضيّ في تنمية بعض المفاهيم الرياضية والعلمية لأطفال ما قبل المدرسة وأثره على تنمية قدرتهم على التخيل، **مجلة الطفولة والتربية، 23**(1): 425–490.

العقالي، أماني. (2018). معوقات توظيف تكنولوجيا الواقع الافتراضيّ في تدريس الرياضيات من وجهة نظر المعلمات في ضوء بعض المتغيرات، **مجلة البحث العلمي في التربية، 19**(14): 437 – 470.

العماري، أحمد. (2023). واقع استخدام المختبرات الافتراضيّة كروكودايل في تدريس التجارب العملية في الكيمياء والفيزياء من وجهة نظر المعلمين. **مجلة كلية التربية، 39**(1): 229 – 266.

العميري، وليد والقحطاني، عثمان وعسيري، يحيى. (2024). الاحتياجات التدريبية لاستخدام المعامل الافتراضيّة في تدريس الكيمياء من وجهة نظر معلمي المرحلة الثانوية بمدينة تبوك. **المجلة التربوية،** 125: 363-415. https://doi.org/10.21608/edusohag.2024.302369.1512

العنزي، ترفة والشهري، عجلان. (2023). مدى جاهزية معامل كلية العلوم في جامعة الحدود الشمالية لتفعيل استخدام المعامل الافتراضيّة من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس. **مجلة العلوم التربوية والنفسية، 7**(24): 1-28.

عوض، منير وبرغوث، محمود. (2017). درجة تضـــمن كتاب التكنولوجيا الجديد للصـــف الخامس الأساسي بفلسطين للمعايير العالمية للتنور التكنولوجي .مجلة الجامعة الإسلامية للدراسات التربوية والنفسية، **25**(2): 292-309. https://search.emarefa.net/detail/BIM-761647

الغامدي، سعيد (2021). عوامل تفعيل مختبرات العلوم من وجهة نظر مشرفي ومعلمي مادة الفيزياء بالمرحلة الثانوية، **مجلة كلية التربية**. جامعة طنطا، **82**(2): 215-265.

القديري، مسعود. (2022). المعامل الافتراضيّة وأثرها في تدريس الجوانب المعملية للمواد التطبيقية من وجهة نظر المعلمين، **مجلة علوم التربية،** (8): 351-362.

القرامسة، يحيى. (2023). واقع استخدام معلمي العلوم للمختبرات الافتراضيّة في محافظة معان من وجهة نظرهم. **مجلة جامعة عمان العربيّة للبحوث - سلسلة البحوث التربوية والنفسية، 8**(1): 9-30.

كبير، حسن، وعبد المنعم، مجاهد. (2017). الاتجاه نحو استخدام تقنية المعامل الافتراضيّة في التدريس لدى معلمي العلوم بالمرحلة الثانوية بولاية القضارف، **مجلة جامعة البطانة للعلوم الإنسانية والاجتماعية، 5**(1): 159-188.

المالكي، فواز وفلمبان، غدير ومجلد، أمجاد. (2023). توظيف استراتيجية التعلم القائم على المشاريع الرقمية والأنشطة التعليمية الإلكترونية في التعليم عن بعد لتنمية مهارات القرن الحادي والعشرين: مراجعة أدبية. **مجلة كلية التربية** (أسيوط)،**39**(8): 241-261.

المرشدي، وسمية، والصغير، حصة. (2016). واقع تجهيز المختبرات المدرسية بالأدوات اللازمة لتدريس منهج الفيزياء المطور للصف الأول الثانوي بمدينه الرياض، **مجلة رسالة التربية وعلم النفس، 2016**(53): 311-336.

مطيري، دلال وتركي، عثمان. (2023). تصميم كتاب إلكتروني تفاعلي قائم على المحاكاة لتنمية مهارات الحاسب العملية في مقرر المهارات الرقمية بالمرحلة المتوسطة، **المجلة الأكاديمية للأبحاث والنشر العلمي، 48**(71): 217-263.

موسى، محمد. (2020). كتاب إلكتروني مقترح لتنمية بعض مهارات التحكم المنطقي القابل للبرمجة (PLC)لدى طلاب المرحلة الثانوية الصناعية. **مجلة كلية التربية،** جامعة المنصورة، **112**(4): 1833-1855. https://doi.org/10.21608/maed.2020.197993

المنديل، خلود. (2020). أثر استخدام بيئة الواقع الافتراضيّ (Blackboard) في تحسين الكفاءة الذاتية لإنتاج المقررات الإلكترونية لدى أعضاء هيئة التدريس بجامعة المجمعة، **مجلة العلوم التربوية والنفسية، 4**(36): 61-88.

نوفل، خالد. (2010). **تكنولوجيا الواقع الافتراضيّ واستخداماتها التعليمية**، عمان: دار المناهد للنشر والتوزيع.

الهادي، أحمد والجبري، عبد الكريم. (2022). معوقات استخدام المعامل الافتراضيّة بالجامعات اليمنية من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس ومساعديهم، **مجلة جامعة البيضاء، 4**(2)، 751-769.

وزارة التربية والتعليم. (2020). **كهرباء استعمال**. رام الله: مركز المناهج.

ثانيًا: المراجع الأجنبيّة

Aguilar, D., Islas, J., Garrido, G., & Alvarado, M. (2022). Virtual Lab Environment for Programmable Logic Controllers Training. In **XXIV Robotics Mexican Congress (COMRob),** 60-65. IEEE. https://doi.org/10.1109/COMRob57154.2022.9962262

Ahmed, A., Alsharif, A., & Aburas, O. (2021). Low-cost hardware-in-the-loop control system using microcontrollers. **Journal of Alasmarya University: Basic and Applied Sciences, 6**(5): 785-788.

Alhalabi, W. (2016). Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. **Behaviour and Information Technology, 35**(11): 919-925. https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1212931

Al-Qaryouti, R. (2021). **The role of programmable logic control in improving the efficiency of industrial processes.** [*Unpublished master's thesis*], Damascus University, Damascus, Syria.

Anderson, L.W., & Krathwohl, D.R. (Eds.). (2001). **A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives**. New York: Longman.

Chemudugunta, P., Madhan, E., Anandkumar, P., Ashvath, K., Guru akash, C., Yogasanthiya Madhan, R., & Dhanabalan, T. (2025). Simulation and Optimization of Material Handling Systems Using Factory I/O for Industrial Automation. **International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI), XII**(V), 2195-2204. https://doi.org/10.51244/IJRSI.2025.120500196

Chen, Q., Zhao, S., & Wang, Z. (2025). AI-Driven Virtual Laboratory Framework for Advanced Control Education: Integrating Ideological and Political Competence through Flexible Manipulator Simulation. **Transactions on Comparative Education, 7**(3), 6-10. https://doi.org/10.23977/trance.2025.070302

Creswell, J.W. & Creswell, J.D. (2018). **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. Los Angeles: Sage.

Cordero-Guridi, J., Cuautle-Gutiérrez, L., Alvarez-Tamayo, I., & Caballero-Morales, O. (2022). Design and development of an I4.0 engineering education laboratory with

virtual and digital technologies based on ISO/IEC TR 23842-1 standard guidelines. **Applied Sciences, 12**(12): 5993. https://doi.org/10.3390/app12125993

Cronin, Paul. (1997). **Report on the Applications of virtual Reality technology to education**. Edinburgh: Human Communication Research Centre (HCRC), University of Edinburgh.

Díaz, M., & Smith, A. D. R. (2023). (Re)Defining expertise in machine learning development**. arXiv preprint arXiv:** 2302.04337. https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.04337

Diazgiron-Aguilar, D., Gonzalez-Islas, J.-C., Godinez-Garrido, G., & Guzman-Alvarado, M. (2022). Virtual Lab Environment for Programmable Logic Controllers Training.In **Proceedings of the 2022 XXIV Robotics Mexican Congress (COMRob)**, Mineral de la Reforma, Hidalgo, Mexico. https://doi.org/10.1109/COMRob57154.2022.9962262

Dreiym. A (2021). Design and implementation of a monitoring and control system using PLC in food industries. **Tishreen Journal for Engineering Sciences**. Retrieved from https://journal.tishreen.edu.sy

Dsouza, D. M. X., Olusola, J., Albrecht, J., Houck, E., Hazaveh, P. K., & Rawashdeh, N. A. (2024). Automating an Industrial Dishwashing System Using Hardware-in-the-Loop PLC Simulation with Factory I/O. [Paper presentation]. In **2024 ASEE Annual Conference & Exposition**, Portland, OR, United States. https://doi.org/10.18260/1-2--46632

Eied, S. Kamboj, S. & Diwan, A, (2019). Development of Automatic Sorting Conveyor Belt Using PLC. **International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 10**(8): 109-118, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3445937

Errabo, D.D., Paguio, A.J. & Enriquez, P.A. (2024), "Epistemic fluency in virtual laboratories as flipped classroom's innovative learning delivery", **Journal of Research in Innovative Teaching & Learning, 17**(2): 256-281. https://0a101pq6e-y-https-doi-org.bau.proxy.coe-elibrary.com/10.1108/JRIT-03-2024-0052

Famic Technologies. (2023). **Automation Studio™: The unique all-in-one design and simulation software**. Retrieved from https://www.famictech.com/en/automation-studio

Festo Didactic. (n.d.). **CIROS®: The universal 3D simulation system**. Retrieved from https://www.festo-didactic.com/int-en/services/ciros/

Foster, M. R., Hammerquist, C., & Melendy, R. (2010). A review of programmable logic controllers in control systems education. **Faculty Publications - Biomedical, Mechanical, and Civil Engineering**, **22**. Retrieved from: https://digitalcommons.georgefox.edu/mece_fac/22

Gadekar, S. Jasud, A. Sable, K & Chandankar, R, (2021). PLC Based Factory Automation Interfaced with SCADA. In **Proceedings of the 3rd International Conference on Communication & Information Processing (ICCIP)**. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3917849

Garcia, E. (2011). **A tutorial on correlation coefficients**. Retrieved from web. https://bibbase.org/service/mendeley/91806a5d-0b39-358d-8731-94e154a41c8d/file/2f072cb8-86ec-a0a5-1a2c-5dd7c9adf645/2011-A_Tutorial_on_Correlation_Coefficients.pdf

Gericke, N., Högström, P. & Wallin, J. (2023), "A systematic review of research on laboratory work in secondary school", **Studies in Science Education, 59** (2): 245-285. https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125

Goud, D. B Girija, M. Roopa, M. & Ganesha, P. (2024). Automatic Operation of Motor by Using PLC (MicroLogix 820). (May 2024). **Journal of Scholastic Engineering Science and Management (JSESM), 3**(5): 31-36, ISSN:2583-3294. https://doi.org/10.5281/zenodo.11237586

Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1985). **Naturalistic inquiry.** Beverly Hills, CA: Sage Publications.

Hair, J. F., Jr., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R.E. (2010). **Multivariate data analysis** (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Haritman, E., Somantri, Y., Wahyudin, D., & Mulyana, E. (2018). A Remote PLC Laboratory (RLab) for Distance Practical Work of Industrial Automation. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 306**(1): 4- 19 https://doi.org/10.1088/1757-899X/306/1/012034

Hassaan, T (2021). **Design of Graduate Projects in the Subject of Programmable Logic Controllers for Students of Technical Institutes**. (Unpublished Master's Thesis), Ninevah University, Mosul, Iraq.

Hosni, O (2023). The Impact of Using Virtual Laboratory Applications inside the Classroom on Development Academic Achievement in Science among Eighth Grade Students. **Journal of Curricula and Teaching Methods. 2**(13): 73 – 83.

Hsieh, S. J. (2015). Design and preliminary evaluation of a portable kit for programmable logic controller education. In **2015 ASEE Annual Conference & Exposition,** 26-459.

Hugh, J. (2020). **Automating manufacturing systems with PLCs.** Michigan: Ferris State University.

Hyung J (2024). **Reverse Engineering for Programmable Logic Controller Structure Estimation Via White Box Networks.** *(Unpublished Master's Thesis), Pohang University of Science and Technology, Pohang, South Korea.*

Jiang, P. & Cao, C. & li, H., (2024). **Application of a Programmable Logic Controller and Proportional–Integral–Derivative Algorithm to a Reamer.** Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4853622

Kammerlohr, V. (2022). **Three studies of shared digital labs: the role of trust in business and maturity model development.** (Unpublished PhD Dissertation), Harbert College of Business, Auburn University, Auburn, USA.

Kammerlohr, V., Paradice, D. & Uckelmann, D. (2023), A maturity model for the effective digital transformation of laboratories, **Journal of Manufacturing Technology Management, 34**(4): 621-643. https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2022-0050

Kakar, Z. U. H., Rasheed, R., Rashid, A., & Akhter, S. (2023). Criteria for assessing and ensuring the trustworthiness in qualitative research. **International Journal of Business Reflections, 4**(2): 150-173.

Kholikhmatov, B. B., Samiev, S. S., Erejepov, M. T., & Nematov, L. A. (2023). Modelling of laboratory work in the science "Fundamentals of power supply" using an educational simulator based on a programmed logic controller. **E3S Web of Conferences,** 384: 01032.

Lee, M. X., & Chongo, S. (2025). Effectiveness of Virtual Lab on Year 5 Students' Achievement and Motivation in the Topic of Electricity**. International Journal of Research and Innovation in Social Science (IJRISS), IX**(VII): 2040-2048. https://dx.doi.org/10.47772/IJRISS.2025.907000169

Lee, S. (2022). **Serrated Flow Accompanied with Dynamic Type Transition of the Portevin–Le Chatelier Effect in Austenitic Stainless Steel**. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4001341

Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. **PLOS ONE, 19**(12), e0316269. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269

Masri, M (2023). The Attitudes of University Students towards their Use of Virtual Labs and the Obstacles to the Use of Virtual Labs in the Educational Process: Field Study on the Students in the Computer Engineering Department at the University College of Applied Sciences "UCAS" - Gaza, Palestine**. Islamic University Journal of Educational and Psychological Studies. 31**(2): 540 – 550.

Msukwa, M. R., & Uchiyama, N. (2025). Interactive lecture contents and virtual laboratory design for control engineering education. **IFAC PapersOnLine, 59**(7), 87–92. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.08.028

Mohammed, A (2021). **Filling System Using PLC, SCADA and Variable Frequency Drive**. (Unpublished Master's Thesis), University of Nilein, Khartoum, Sudan.

More, C., Stromberga, Z., & Stirling, A. (2017). Virtualisation devices for student learning: Comparison between desktop-based (Oculus Rift) and mobile-based (Gear VR) virtual reality in medical and health science education. **Australasian Journal of Educational Technology, 33**(6): 1-10. https://doi.org/10.14742/ajet.3840

Omri, A. Fernandez, J. & Di Pietro, R. (2023), Extending Device Noise Measurement Capacity for OFDM-Based PLC Systems: Design, Implementation, and On-Field Validation. **Computer Networks,** 237. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4448824

Othman, M., & Stöcker, C. (2022, March 9-11). Aufbau virtueller Versuchsanlagen und deren Nutzung in Lehrveranstaltungen zur Automatisierungstechnik. In **18th AALE-Konferenz**, Pforzheim, Germany.

Pavlou, Y., & Zacharia, Z. C. (2024). Using Physical and Virtual Labs for Experimentation in STEM+ Education: From Theory and Research to Practice. In K. Korfiatis et al. (Eds.), In **Shaping the Future of Biological Education Research, Contributions from Biology Education Research**. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44792-1_1

PLCLogix. (n.d.). **PLCLogix.** Retrieved July 12, 2025, from https://www.plclogix.com

Pratama, A. T., Darwin, D. H. L. F., & Sofianti, T. D. (2022). Virtual laboratory for supporting course of industrial automation. **Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa, 27**(3): 253-270.

PraxiLabs. (n.d.). **Virtual labs.** Retrieved from https://praxilabs.com/en/virtual-labs

Purnomo, R. D., Mulyanti, B., & Kustija, J. (2021). PLC (Programmable Logic Controller) distance learning using remote lab system. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1098**(4): 042014. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/4/042014

Real Games. (n.d.-a). **Factory I/O: The real time 3D factory simulation for learning automation technologies**. Retrieved from https://factoryio.com/

Real Games. (n.d.-b). *Manual: Getting started*. Factory I/O. Retrieved from https://docs.factoryio.com/

Riera, B., & Vigário, B. (2017). HOME I/O and FACTORY I/O: a virtual house and a virtual plant for control education. **IFAC PapersOnLine, 50**(1): 9144–9149. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1719

Rockwell Automation. (n.d.). **Emulate3D digital twin software.** Retrieved from https://www.emulate3d.com/

Sabbagh, A., Pour, M. A., & Boles, W. (2021). Remote learning: Implementing IIoT and Industry 4.0 technologies using PLCs. *In* **2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON),** 280-287. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17091-1_29

Sanzana, M., Abdulrazic, M., Wong, J., Karunagharan, J. &Chia, J. (2024). Gamified virtual labs: shifting from physical environments for low-risk interactive learning, **Journal of Applied Research in Higher Education, 16**(1): 208-221. https://0a101pq6e-y-https-doi-org.bau.proxy.coe-elibrary.com/10.1108/JARHE-09-2022-0281

Setiana, H., Nuraqil, N., & Widjajianto, D. (2025). PLC-Based Color and Weight Sorting Automation with Factory I/O Imaging. **ELECTRICES - Jurnal Otomasi Kelistrikan dan Energi Terbarukan, 7**(1): 27-36.

Shatha, Y., Hussain, S., Zozan & Thabit, H (2021). Using PI Controller Unit for Controlling the Water Temperature in Oil Fired Heaters by PLC Techniques. **Przegląd Electrotechnics,** (3): 157 – 161.

Sheorey, T. (2014). Empirical evidence of relationship between virtual lab development and students learning through field trials on Vlab on Mechatronics. **International Journal of Information and Education Technology, 4**(1): 97–102. https://doi.org/10.7763/IJIET.2014.V4.377

Siemens. (2023). **Introduction to PLC programming: Basics and examples.** Siemens Training Center. Retrieved from https://www.siemens.com

Syeed, M. M., Shihavuddin, A., Uddin, M. F., Hasan, M., & Khan, R. H. (2022). Outcome Based Education (OBE): Defining the Process and Practice for Engineering Education. **IEEE Access,** 10: 119170–119192. https://doi.org/10.1109/access.2022.3219477

Syufrijal. (2020). Development of Interactive PLC Learning Media Based on Virtual Learning. In **International Conference on Humanities, Education, and Social Sciences, KnE Social Sciences,** 513-521. https://doi.org/10.18502/kss.v4i14.7910

Terkaj, W., Kleine, K., & Kuts, V. (2024). Virtual labs for higher education in industrial engineering. **Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 73**(2): 142-149.

https://doi.org/10.3176/proc.2024.2.07

Thabet, H. (2021). **Rationalization of Electricity and Water Consumption Used in Mosques for Ablution Using the Techniques of Programmable Logic Controllers (PLC).** Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3838075 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3838075

Tsirulnikov, D., Suart, C., Abdullah, R., Vulcu, F. & Mullarkey, C.E. (2023), "Game on: immersive virtual laboratory simulation improves student learning outcomes and motivation", **FEBS Open Bio, 13**(3): 396-407. https://doi.org/10.1002/2211-5463.13567

Turkey, J., & Al-Sbou, M. (2022). Attitudes of science teachers for gifted students towards the virtual laboratory and the challenges they face from their viewpoint. **Journal of Positive School Psychology, 6**(2): 4569–4583. Retrieved from http://journalppw.com

Uckelmann, D. & Baalsrud Hauge, J. (2021), "A multi-sided platform to activate the sharing of digital labs", **International Journal of Engineering**. **17**(11): 4-33.

Usman, M., Suyanta, & Huda, K. (2021). Virtual lab as distance learning media to enhance student's science process skill during the COVID-19 pandemic**. Journal of Physics**, 1882: 1-8.

Vargas, H., Heradio, R., Donoso, M., & Farias, G. (2023). Teaching automation with Factory I/O under a competency-based curriculum. **Multimedia Tools and Applications, 82**(1): 19221–19246. https://doi.org/10.1007/s11042-022-14047-9

Wang, J., & Liu, Z.-Z. (2024). Design of electrical system teaching platform based on PLC and implementation of virtual simulation training system. **Journal of Computers, 35**(5): 203–219. https://doi.org/10.53106/199115992024103505014

Wu, Q., Wang, Y., Lu, L., Chen, Y., Long, H. & Wang, J. (2022). Virtual simulation in undergraduate medical education: a scoping review of recent practice, **Insights in Healthcare Professions Education,** 1- 12. doi: https://doi.org/10.3389/fmed.2022.855403

Zare, M. (2023). **Introducing and Applying Industrial Automation (PLC).** Available at SSRN**:** https://ssrn.com/abstract=4490845 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4490845

Zhu, Z. (2017). **Design of a virtual laboratory for automation control** (Unpublished Master's Thesis), Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA.

الملاحق

ملحق (أ): الأداة الكمية للدراسة قبل التحكيم

ملحق (ب): الأداة النوعية للدراسة قبل التحكيم

ملحق (ت): قائمة المحكمين

ملحق (ث): الأداة النوعية بعد التحكيم

ملحق (ج): الأداة الكمية بعد التحكيم

ملحق (ح): الأداة الكمية بعد فحص الخصائص السيكومترية

ملحق (خ): كتب تسهيل المهمة

ملحق (د): الأداة الكمية في صورتها النهائية

ملحق (ذ): الأداة النوعية في صورتها النهائية

ملحق (ر): تحليل لبعض آراء الأكاديميين المستخدمين

ملحق (ز): تحليل لبعض آراء الأكاديميين غير المستخدمين

ملحق (س): تحليل لبعض آراء الإداريين

ملحق (ش): موثوقية الأداة النوعية (المصداقية)

ملحق (ص): موثوقية الأداة النوعية (قابلية النقل)

ملحق (ض): موثوقية الأداة النوعية (الاعتمادية)

ملحق (ط): موثوقية الأداة النوعية (قابلية التأكيد)

مُلحق (أ) الأداة الكميّة للدراسة قبل التحكيم

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العُليا والبحث العلميّ

بسم الله الرحمن الرحيم

حضرة الأستاذ الدكتور ..... المُحترم/ة.

تحيّة طيبة وبعد،

تُجري الباحثة دراسة لاستكمال متطلبات الحصول على درجة الماجستير في تكنولوجيا التعليم والتعلُّم الإلكترونيّ، بعنوان: "توظيف المُختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)". ونظرًا لما تتمتعون به من علم ودراية والدراية والاهتمام في هذا المجال، فإنني أتوجه إليكم لإبداء آرائكم وملاحظاتكم القيّمة في تحكيم فقرات أدوات الدراســة الحاليّة؛ من حيث مناســبتها لقياس ما وضعت لقياسه، ووضوح الفقرات وسلامة صياغتها اللغويّة، وإضافة أي تعديل مقترح ترونه مناسبًا، من أجل إخراجها بالصورة المُناسبة لتحقيق أهداف الدراسة.

مع بالغ شكري وتقديري،

الباحثة: غنى فاروق توفيق شنطي

بإشراف: أ.د. حمدي يونس أحمد أبو جراد

بيانات المُحَكِّم:

اسم المُحَكِّم	الجامعة	الرتبة العلميّة	التخصص

القسم الأول: خصائص عينة الدراسة (البيانات الديموغرافيّة والوظيفيّة)

الرجاء التكرّم بوضع علامة (✓) في المربع المناسب أو تعبئة الفراغ

- المُسمى الوظيفي الحالي:

☐ عضو هيئة تدريس. ☐ مشرف مختبر.

☐ رئيس قسم. ☐ أخرى .....

اسم المؤسسة التي تعمل بها سواء كانت (جامعة أو كليّة تقنيّة أو معهد تقنيّ):

.....

- المؤهل العلميّ:

☐ دبلوم. ☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير. ☐ دكتوراة.

- سنوات الخبرة في مجال تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (تدريسًا أو إشرافًا على المختبرات):

☐ أقل من 5 سنوات.

☐ من 5 إلى 10 سنوات.

☐ أكثر من 10 سنوات.

- أي من العبارات الآتية تصف بشكل أفضل ممارستكم الحالية في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟

☐ أقوم باستخدام أو الإشراف على مختبرات افتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة.

☐ لا أستخدم مختبرات افتراضيّة، بل أعتمد بشكل أساسي على برامج المحاكاة البرمجيّة (Simulation Software) لرسم واختبار مخططات الـLadder.

☐ لا أستخدم أي برامج محاكاة، بل أعتمد بشكل كامل على المختبرات المادية التقليدية.

أخرى (يرجى التحديد): .....

- التخصص الهندسيّ الذي تقومون بتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من خلال مساقاته أو مختبراته: مثال: (الهندسة الكهربائيّة، هندسة الأتمتة الصناعيّة، هندسة الميكاترونيكس، ...).

.....

- المستوى الأكاديمي للبرامج التي تشرفون على مختبراتها أو تدرسون فيها (يُمكن اختيار أكثر من إجابة):

☐ دبلوم.

☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير.

- يُرجى ذكر اسم مساق/مساقات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة التي تشرفون على مختبرها أو تقومون بتدريسها:

.....

القسم الثاني: محاور الاستبانة

الأول: محور الواقع

يُرجى وضع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد **درجة الموافقة** الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف واقع توظيف المختبر الافتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
1	موجبة	يتزايد استخدام المختبرات الافتراضيّة في المؤسسات التعليمية لتعليم PLC حاليًا.					
2	موجبة	يُظهر الطلاب حاليًا اهتمامًا وتفاعلًا عاليًا عند استخدامهم للمختبرات الافتراضيّة.					
3	موجبة	المحتوى التعليمي المتوفر في المختبرات الافتراضيّة الحالية يغطي الجوانب الأساسية لبرمجة الـ PLC.					
4	موجبة	المختبرات الافتراضيّة المتاحة حاليًا تحاكي الأنظمة الصناعية الواقعية بكفاءة عالية.					
5	موجبة	تستخدم المختبرات الافتراضيّة حاليًا لتقليل الازدحام في المختبرات التقليديّة وتحسين إمكانيّة الوصول للطلاب.					
6	موجبة	تُوفّر المؤسسات التعليمية الدعم الفني والتقني اللازم لتشغيل المختبرات الافتراضيّة لتعليم PLC بفعالية.					
7	موجبة	يمتلك أعضاء هيئة التدريس والمدربون المهارات الكافية لدمج المختبرات الافتراضيّة في المقررات الدراسية.					
8	موجبة	المختبرات الافتراضيّة تُستخدم حاليًا كأداة مكملة للمختبرات التقليدية وليست بديلًا عنها.					
9	موجبة	يُقوَّم أداء الطلبة في المختبرات الافتراضيّة حاليًا باستخدام أدوات تقويم متنوعة (مثل: محاكاة خطوط إنتاج مع تقديم تقرير).					
10	موجبة	جودة المحتوى التعليمي والتفاعليّ في برمجيات المختبرات الافتراضيّة المُتاحة حاليًا تلبي توقعات أعضاء هيئة التدريس.					

الثاني: محور التحديات

يُرجى وضع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد درجة التحدي الذي تُمثله كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف التحديات التي تواجه توظيف المختبر الافتراضـــيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
11	سالبة	التكلفـة العـاليـة لتراخيص برامج المختبرات الافتراضيّة المتطورة تشكل عائقًا رئيسيًا.					
12	سالبة	الحاجة إلى أجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية لتشغيل برامج المحاكاة بكفاءة.					
13	سالبة	صـــعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية والميكانيكية (Hardware Faults) بشكل واقعي.					
14	سالبة	تَطَلُّب إعداد وتصـميم تجارب تعليميّة افتراضـيّة وقتاً وجهداً كبيرين من أعضاء هيئة التدريس.					
15	سالبة	ضـعف البنية التحتية لشـبكة الإنترنت في بعض المؤسسات يعوق الوصول السلس للمختبرات.					
16	سالبة	قلة تدريب المعلمين والمدربين على كيفية تصميم تجـارب تعليميـة فعّالـة بـاســـتخدام المختبرات الافتراضيّة.					
17	سالبة	صـــعوبـة تقويم المهـارات العمليّـة والحســـيّـة (Hands-on Skills) للطلاب بشـكل دقيق عن بعد.					
18	سالبة	مقاومـة التغيير من قبل بعض أعضـــاء هيئـة التدريس المعتادين على الطرق التقليدية.					
19	سالبة	صعوبة ربط المُخرجات في المختبرات الافتراضيّة بمتطلبات الاعتماد الأكاديمي الدوليّ.					
20	سالبة	ضعف دافعية بعض الطلاب للتفاعل مع بيئات التعلُّم الافتراضـــيّة مقارنـة بـالتجـارب العمليـة الملموسة.					
21	سالبة	غياب الدعم الإداري والمؤســسـي الكافي لتوفير الموارد اللازمة وتبني هذه التقنيات.					
22	سالبة	عدم وجود معايير واضـحة لتقويم جودة برمجيات المختبرات الافتراضيّة واختيار الأنسب منها.					

الثالث: محور الآثار المتوقعة

يُرجى وضـــع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد درجة الموافقة الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصـــف الآثار الإيجابيّة المتوقعة لتوظيف المختبر الافتراضـــيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
23	موجبة	تســـاهم في تعميق فهم الطلاب للمفـاهيم النظرية من خلال التطبيق والمشـــاهدة الفورية للنتائج.					
24	موجبة	تزيد من فرص وصـول الطلاب للتعلم في أي وقت ومن أي مكان (التعلم المرن).					
25	موجبة	توفر بيئة تعليميّة آمنة تتيح تجربة سيناريوهات معقدة أو خطرة دون أي أخطار حقيقية.					
26	موجبة	تُسـهم في تحسـين السـمعة الأكاديمية والتقنيّة للمؤسسة التعليميّة وجذب طلاب متميزين.					
27	موجبة	تطور لدى الطلاب مهارات حل المشـــكلات والتفكير النقـدي من خلال محـاكـاة أعطـال النظام.					
28	موجبة	تساهم في تقليل التكاليف التشغيلية للمختبرات (صيانة، استهلاك، تحديث الأجهزة المادية).					
29	موجبة	تتيح تنفيـذ تجـارب لا يُمكن إجراؤهـا في المختبرات التقليدية بسبب التكلفة أو الخطورة.					
30	موجبة	تســاهم في ســد الفجوة بين التعليم الأكاديمي ومتطلبات سوق العمل الصناعي الحديث.					

مُلحق (ب) الأداة النوعيّة للدراسة قبل التحكيم

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العُليا والبحث العلميّ

بسم الله الرحمن الرحيم

حضرة الأستاذ الدكتور ..... المُحترم/ة.

تحيّة طيبة وبعد،

تُجري الباحثة دراسة لاستكمال متطلبات الحصول على درجة الماجستير في تكنولوجيا التعليم والتعلُّم الإلكترونيّ، بعنوان: "توظيف المُختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)". ونظرًا لما تتمتعون به من علم ودراية والدراية والاهتمام في هذا المجال، فإنني أتوجه إليكم لإبداء آرائكم وملاحظاتكم القيّمة في تحكيم فقرات أدوات الدراســة الحاليّة؛ من حيث مناســبتها لقياس ما وضعت لقياسه، ووضوح الفقرات وسلامة صياغتها اللغويّة، وإضافة أي تعديل مقترح ترونه مناسبًا، من أجل إخراجها بالصورة المُناسبة لتحقيق أهداف الدراسة.

مع بالغ شكري وتقديري،

الباحثة: غنى فاروق توفيق شنطي

بإشراف: أ.د. حمدي يونس أحمد أبو جراد

بيانات المُحَكِّم:

اسم المُحَكِّم	الجامعة	الرتبة العلميّة	التخصص

القسم الأول: خصائص عينة الدراسة (البيانات الوظيفيّة)

- المؤهل العلمي للخبير: .....
- المستوى الأكاديمي للبرامج التي تشرفون على مختبراتها أو تدرسون فيها (يُمكن اختيار أكثر من إجابة):

☐ دبلوم.

☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير.

هل المؤسسة التعليميّة داعمة لفكرة استخدام المختبرات الافتراضيّة في التعليم؟ (داعمة أم غير داعمة)

- داعمة؟ ماذا يعني ذلك على أرض الواقع؟ هل يمكنك طرح أمثلة؟ هل توفر تراخيص البرامج اللازمة؟ هل هناك ميزانيّة مخصصة لهذه التقنيات؟ هل تنظم ورش عمل لتدريب أعضاء هيئة التدريس؟ هل هناك تشجيع إداري واضح لتبنيها؟
- غير داعمة؟ لو سمحت، كيف توضح هذا النقص في الدعم؟ هل هو نقص في الميزانيّة المخصصة؟ مقاومة من الإدارة العليا؟ عدم وجود رؤية استراتيجيّة واضحة لدمج التكنولوجيا في التعليم؟
- هل يقوم الخبير بتوظيف المختبر الافتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة؟ (نعم أم لا)
- هل لديك خبرة سابقة في استخدام المختبر الافتراضيّ لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟(نعم أم لا)

القسم الثاني: اختيار مسار المقابلة المناسبة للخبير.

المسار الأول: للخبراء الذين استخدموا المختبرات الافتراضيّة (المستخدمون)

المحور التمهيدي: الخبرة والسياق.

1. **سؤال افتتاحي:** بداية، هلا حدثتني عن رحلتك المهنيّة والأكاديمية، وخصوصًا علاقتك بتدريس المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟

2. **تجربة الاستخدام:** كيف بدأت رحلتك مع المختبرات الافتراضيّة؟ هل كان قرارًا شخصيًا أم توجهًا مؤسسيًا؟ وما هي أبرز البرمجيات التي تعاملت معها؟

المحور الأول: تشخيص الواقع والتجربة

3. **وصف التجربة:** بالنظر إلى تجربتك ما هي أبرز الفروقات التي لمستها بين التدريس باستخدام المختبر التقليدي والافتراضيّ من حيث تفاعل الطلاب وفهمهم للمادة؟

4. **قصة نجاح:** هل يمكنك أن تشاركني بموقف محدد أو قصة نجاح شعرت فيها أن المختبر الافتراضيّ أحدث فرقًا جوهريًا لم يكن ليتحقق في المختبر التقليدي؟

5. **تجربة محبطة:** في المقابل، هل واجهت تحديًا أو تجربة محبطة حيث شعرت أن المختبر الافتراضيّ لم يحقق الهدف المرجو منه؟ وماذا كانت الأسباب في رأيك؟

المحور الثاني: تحليل التحديات

6. **أولوية المعوقات:** عند الحديث عن معوقات التوظيف الفعال لهذه التقنيات، نجد تحديات (تقنية، تربوية، ومؤسسيّة). من واقع تجربتك، أي من هذه الأنواع الثلاثة يمثل "عنق الزجاجة" الحقيقي في سياقنا المحلي؟ ولماذا؟

7. **الفجوة الحسيّة (التحدي التربوي):** تسعى هذه الأدوات لتعويض غياب "الإحساس الفيزيائي" بالمعدات. إلى أي مدى نجحت في ذلك برأيك؟ وهل تبقى هناك فجوة معرفيّة أو مهاريّة لا يمكن سدها إلا بالمختبر الحقيقيّ؟

لنفترض أنك صممت تجربة مثاليّة في مختبر افتراضيّ، ما هي المهارة الوحيدة التي ستبقى قلقًا من أن الطالب لم يكتسبها بشكل كامل بدون لمس الأجهزة الحقيقيّة؟

المحور الثالث: استشراف الآثار والمستقبل

8. **المهارات المكتسبة:** ما المهارات (الذهنيّة أو العمليّة) التي يكتسبها الطالب بشكل أفضل أو فريد من خلال المختبر الافتراضيّ مقارنة بالتقليديّ؟

9. **نقد الممارسة:** هل ترى أن الاعتماد الكامل على المختبرات الافتراضيّة قد يخلق خريجًا "نظريًا" يفتقر للقدرة على التعامل مع مشكلات الواقع الصناعيّ غير المتوقعة؟

10. **جودة المخرجات:** بناءً على كل ما سبق، هل تعتقد أن دمج هذه المختبرات يرتقي بجودة الخريج بشكل حقيقي وملموس؟ أم أنه مجرد أداة مساعدة لا تغير كثيرًا في المحصلة النهائيّة؟

المحور الرابع: توصيات عملية:

11. **تقويم الأدوات:** من بين المختبرات الافتراضيّة التي تعرفها أو استخدمتها، أيها توصي به للمؤسسات الأكاديمية التي تستهدف طلبة الدبلوم أو البكالوريوس في التخصصات التي تتضمن المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟ وما هي نقاط القوة التي تجعلك تفضله؟

12. **نصيحة للمترددين:** لو طلب منك تقديم نصيحة واحدة لرئيس قسم أكاديمي متردد في الاستثمار بهذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

13. في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة جوهريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها تستحق الذكر؟

هل لديك رغبة باستخدام المختبرات الافتراضيّة في المستقبل؟ (نعم أم لا)

المسار الثاني: للخبراء الذين لم يستخدموا المختبرات الافتراضيّة (غير المستخدمين)

بعد المقدمة الشفويّة ومشاهدة الفيديو القصير الذي استعرض فكرة المختبرات الافتراضيّة، تهدف هذه المقابلة إلى استثمار خبرتكم العريقة لفهم التصورات الأوليّة، والانطباعات المبدئيّة حول هذه التقنيّة، واستشراف دورها المحتمل في المشهد التعليمي من منظوركم الخبير.

المحور التمهيدي: السياق والتصورات

1. **سؤال افتتاحي:** بداية، هلا حدثتني عن رحلتك المهنيّة والأكاديمية، وخصوصًا علاقتك بتدريس المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟

2. **التصور الأوليّ:** كما ذكرت: لم يسبق لك استخدام المختبرات الافتراضيّة بشكل مباشر. بناءً على ما شاهدتموه، والذي قدّم لمحة سريعة عن المختبرات الافتراضيّة، كيف تبلور انطباعكم الأوليّ حول هذه التقنيّة؟ وما هي التصورات المبدئيّة التي تكونت لديكم بشأن إمكاناتها أو تحدياتها في سياق التعليم الهندسيّ؟

المحور الأول: استكشاف أسباب عدم التبني

3. **الحواجز المؤسسيّة:** من وجهة نظرك، ما هي الأسباب الرئيسيّة التي تمنع المؤسسات التعليميّة في سياقنا المحليّ من تبني المختبرات الافتراضيّة بشكل أوسع؟

4. **الحواجز التربويّة والشخصيّة:** على المستوى الشخصيّ كأكاديمي، هل لديك تحفظات تربويّة أو بيداغوجيّة تجاه استبدال أو دعم المختبر الحقيقيّ بالافتراضيّ؟

5. **قيمة المختبر التقليديّ:** في رأيك ما هي الجوانب التي يقدمها المختبر الفيزيائيّ والتي تعتقد أنه من المستحيل أو من الصعب جدًا على أي بيئة افتراضيّة محاكاتها؟

المحور الثاني: تقديم الفكرة من الخارج

6. **الفوائد المتصورّة:** على الرغم من عدم استخدامك لها، ما هي الفوائد المحتملة التي قد تراها في هذه التقنيات لو تم تطبيقها بالشكل الصحيح؟

7. **المخاطر المُتصوّرة:** بالمقابل، ما هي أبرز المخاطر أو السلبيات التي تخشاها في حال تم الاعتماد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة في إعداد المهندسين والفنيين؟

8. **جودة المخرجات:** هل تعتقد أن الطالب الذي يعتمد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة سيكون بنفس كفاءة الطالب الذي قضى وقتًا أطول في المختبرات الحقيقيّة عند مواجهة سوق العمل؟ ولماذا؟

وهل تعتقد أن الدمج المدروس لهذه المختبرات مع المناهج الحالية من شأنه أن يرتقي بجودة الخريج بشكل جوهري وملموس؟ أم أن تأثيرها سيظل في حدود كونها أداة مساعدة ثانوية؟ وإذا أردت تقدير حجم هذا الأثر، كيف تصفه؟ تحويلي كبير، متوسط، أم طفيف؟

المحور الثالث: استشراف المستقبل وتقديم التوصيات

9. **شـروط التبني:** تحت أي ظروف أو مع توفر أي متطلبات قد تُفكر في تجربة أو تبني المختبرات الافتراضـيّة في مساقاتك مستقبلًا؟

10. **تقويم الأدوات** (فقط لمن لديهم معرفة سابقة بالمختبرات الافتراضيّة ولا يستخدمونها)**:** أيها توصي به للمؤسسات الأكاديمية التي تسـتهدف طلبة الدبلوم أو البكالوريوس في التخصـصـات التي تتضـمن المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟ وما هي نقاط القوة التي تجعلك تفضله؟

10. لو طلب منك تحديد موقفك المبدئي من هذه التقنيات، هل تميل إلى التوصـيّة بها بحذر، أم التريث لحين ظهور المزيد من الأدلة والبراهين على فاعليتها، أم الرفض المبدئي، لوجود مخاوف جوهريّة لديك؟

11. **نصـيحة للمترددين:** لو طلب منك تقديم نصـيحة واحدة لرئيس قسم أكاديمي متردد في الاستثمار بهذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

12. بعد هذا النقاش، هل تغير تصورك الأوليّ عن المختبرات الافتراضيّة بأي شكل من الأشكال؟

13. في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة جوهريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها تستحق الذكر؟

هل لديك رغبة باستخدام المختبرات الافتراضيّة في المستقبل؟ (نعم أم لا)

المسار الثالث: صنّاع القرار (الإداريون)

بعد المقدمة الشـفويّة ومشـاهدة الفيديو القصـير الذي اسـتعرض فكرة المختبرات الافتراضـيّة، تهدف هذه المقابلة إلى استثمار خبرتكم العريقة لفهم التصورات الأوليّة، والانطباعات المبدئيّة حول هذه التقنيّة، واستشراف دورها المحتمل في المشهد التعليمي من منظوركم الخبير.

المحور التمهيدي: السياق والتصورات

1. **سؤال افتتاحي:** بداية، هلا حدثتني عن دورك الإداريّ في المؤسسة، وخصوصًا علاقتك بعمليّة تطوير المناهج والمختبرات التقنيّة في قسمكم/ كليتكم؟

2. **التصور الأوليّ:** بناءً على ما شاهدتموه، والذي قدّم لمحة سريعة عن المختبرات الافتراضيّة، كيف تبلور انطباعكم الأوليّ حول هذه التقنيّة؟ وما هي التصورات المبدئيّة التي تكونت لديكم بشأن إمكاناتها أو تحدياتها في سياق التعليم الهندسيّ؟

المحور الأول: استكشاف بيئة التبني المؤسسي

3. **الحواجز المؤسسيّة:** بشكل عام، هل تعتبر مؤسستكم التعليميّة داعمة لفكرة استخدام تقنيات مثل المختبرات الافتراضيّة في التعليم؟

- في حال الإجابة بـ(داعمة)" كيف يترجم هذا الدعم على أرض الواقع؟ هل يمكنك إعطاء أمثلة؟
- في حال الإجابة بـــ(غير داعمة)" كيف يتجلى هذا النقص في الدعم؟ هل هو تحدٍ في الميزانيّة؟ هل هناك مقاومة من الإدارة العليا؟ أم غياب لرؤية استراتيجيّة واضحة لدمج التكنولوجيا؟

الأسباب الرئيسية لعدم التبني: من منظورك الإداريّ، ما هي الأسباب الرئيسيّة التي تمنع المؤسسات التعليميّة في سياقنا المحليّ من تبني المختبرات الافتراضيّة بشكل أوسع؟

المحور الثاني: تقويم الفكرة من منظور إداري

6. **الفوائد المتصورّة:** على الرغم من التحديات، ما هي الفوائد الاستراتيجيّة المحتملة التي قد تراها في هذه التقنيات لو تم تطبيقها بالشكل الصحيح؟

7. **المخاطر المُتصوّرة:** بالمقابل، ما هي أبرز المخاطر أو السلبيات المؤسسيّة التي تخشاها في حال تم الاعتماد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة في إعداد المهندسين والتقنيين؟

8. **جودة المخرجات:** هل تعتقد أن الدمج المدروس لهذه المختبرات الافتراضـــيّة من شـــأنه أن يرتقي بجودة الخريج بشكل يمثل قيمة مضافة حقيقة للمؤسسة؟ أم أن تأثيرها سيظل هامشيًا؟ وإذا أردت تقدير حجم هذا الأثر على تنافسية خريجكم، كيف تصفه؟ (تحويلي كبير، متوسط، أم طفيف؟).

المحور الثالث: استشراف المستقبل واتخاذ القرار

9. **شـروط التبني:** تحت أي ظروف أو مع توفر أي متطلبات قد تتخذون قرارًا بتجربة أو تبني المختبرات الافتراضـيّة في مساقات مؤسستكم مستقبلًا؟

10. **الموقف المبدئي من الاسـتثمار:** لو طلب منك تحديد موقفك المبدئي من هذه التقنيات، هل تميل إلى التوصـيّة بها بحذر، أم التريث لحين ظهور المزيد من الأدلة والبراهين على فاعليتها، أم الرفض المبدئي، لوجود مخاوف جوهريّة لديك؟

11. **نصـيحة لصـانع قرار آخر:** لو طلب منك تقديم نصـيحة واحدة لرئيس قسـم أكاديمي متردد في الاسـتثمار بهذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

12. **التغير في التصـــور:** بعد هذا النقاش، هل تغير تصـــورك الأوليّ عن المختبرات الافتراضـــيّة بأي شـــكل من الأشكال؟

13. **نقطة جوهرية أخيرة:** في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة جوهريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها تستحق الذكر؟

مع بالغ شكري وتقديري

الباحثة: غنى فاروق

ملحق (ت): قائمة المُحكِّمين

الرقم	الاسم	الرتبة	التخصص	الجامعة
1	ثائر غازي حسين	أستاذ مساعد	مناهج وأساليب تدريس	الجامعة الأردنيّة
2	محمد جمال محمد بوريني ياسين	أستاذ مساعد	الرياضيات التطبيقيّة	جامعة النجاح الوطنيّة
3	محمود عبد الجليل إســـماعيل رمضان	أستاذ مساعد	المناهج وطرق التدريس تخصص علوم	جامعة النجاح الوطنيّة
4	منال المهنا	أستاذ مشارك	تقنيات التعليم	جامعة الملك سعود
5	وليد راضي رشيد كُخن	أستاذ مساعد	الهندسة الكهربائيّة	كلية هشام حجاوي التقنيّة

ملحق (ث) الأداة النوعيّة بعد تحكيم المُحكمين

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العُليا والبحث العلميّ

بسم الله الرحمن الرحيم

حضرة الأستاذ الدكتور ..... المُحترم/ة.

تحيّة طيبة وبعد،

تُجري الباحثة دراسة لاستكمال متطلبات الحصول على درجة الماجستير في تكنولوجيا التعليم والتعلُّم الإلكترونيّ، بعنوان: "توظيف المُختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)". ونظرًا لما تتمتعون به من علم ودراية والدراية والاهتمام في هذا المجال، فإنني أتوجه إليكم لإبداء آرائكم وملاحظاتكم القيّمة في تحكيم فقرات أدوات الدراســة الحاليّة؛ من حيث مناســبتها لقياس ما وضعت لقياسه، ووضوح الفقرات وسلامة صياغتها اللغويّة، وإضافة أي تعديل مقترح ترونه مناسبًا، من أجل إخراجها بالصورة المُناسبة لتحقيق أهداف الدراسة.

مع بالغ شكري وتقديري،

الباحثة: غنى فاروق توفيق شنطي

بإشراف: أ.د. حمدي يونس أحمد أبو جراد

بيانات المُحَكِّم:

اسم المُحَكِّم	الجامعة	الرتبة العلميّة	التخصص

الأداة النوعيّة (دليل المقابلة)

المحور التمهيدي: الخبرة وتحديد المسار.

1. **ســـؤال افتتاحي:** بداية، هلا حدثتني عن خلفيتكم المهنيّة والأكاديمية، وخصـــوصًـــا علاقتك بتدريس المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة أو الإشراف على مختبراته؟ (دُوِّنَت ملاحظات عن المؤهل العلميّ، المسمى الوظيفيّ، سنوات الخبرة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة أو الإشراف على مختبره، المساقات والفئة التي يدرسها، المستوى الأكاديمي للطلاب).

2. **سؤال تحديد المسار:** شكرًا لك على التوضيح. في ممارستكم الحاليّة لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، ما هي الأدوات التي تعتمدون عليها بشكل أساسيّ؟ هل تستخدمون المختبرات التقليديّة "ماديّة" فقط، أم برامج المحاكاة البرمجيّة، أم المختبرات الافتراضيّة؟

يُنْتَقَلُ إلى مسار المقابلة الأول (في حال اخْتِيَارِ المختبرات الافتراضيّة).

يُنْتَقَلُ الانتقال إلى مسار المقابلة الثاني (في حال اخْتِيَارِ برامج محاكاة برمجية فقط أو مختبرات تقليديّة "ماديّة" فقط).

المسار الأول: للخبراء الذين استخدموا المختبرات الافتراضيّة (المستخدمون)

المحور الأول: تشخيص الواقع والتجربة

1. **وصـف التجربة:** بالنظر إلى تجربتك ما هي أبرز الفروقات التي لمسـتها بين التدريس باسـتخدام المختبر التقليدي والافتراضيّ من حيث تفاعل الطلاب وفهمهم للمادة؟

2. **قصة نجاح:** هل يمكنك أن تشاركني بموقف محدد أو قصـة نجاح شعرت فيها أن المختبر الافتراضـيّ أحدث فرقًا جوهريًا لم يكن ليتحقق في المختبر التقليدي؟

3. **تجربة محبطة:** في المقابل، هل واجهت تحديًا أو تجربة محبطة حيث شـــعرت أن المختبر الافتراضـــيّ لم يحقق الهدف المرجو منه؟ وماذا كانت الأسباب في رأيك؟

المحور الثاني: تحليل التحديات

1. **أولويـة المعوقـات:** عنـد الحـديث عن معوقـات التوظيف الفعـال لهـذه التقنيـات، نجـد تحـديـات (تقنيـة، تربويـة، ومؤسسيّة). من واقع تجربتك، أي من هذه الأنواع الثلاثة يمثل "عنق الزجاجة" الحقيقي في سياقنا المحلي؟ ولماذا؟

2. بالحديث عن التحديات المؤسسيّة بالتحديد من واقع تجربتك، كيف تصـف مسـتوى الدعم المؤسـسـيّ الذي تلقيته لتوظيف هذه التقنيات؟

- داعمة على أرض الواقع (على سـبيل المثال توفير تراخيص البرامج اللازمة، هناك ميزانيّة مخصـصـــة لهذه التقنيات، تنظم ورش عمل لتدريب أعضاء هيئة التدريس، تشجيع إداري واضح لتبنيها).
- غير داعمة أي هناك نقص في الدعم (على سبيل المثال نقص في الميزانيّة المخصصـة، مقاومة من الإدارة العليا، عدم وجود رؤية استراتيجيّة واضحة لدمج التكنولوجيا في التعليم).

3. **الفجوة الحسيّة:** تسعى هذه الأدوات لتعويض غياب "الإحساس الفيزيائي" بالمعدات. إلى أي مدى نجحت في ذلك برأيك؟ وهل تبقى هناك فجوة معرفيّة أو مهاريّة لا يمكن سدها إلا بالمختبر الحقيقيّ؟

4. لنفترض أنك صممت تجربة مثاليّة في مختبر افتراضـيّ، ما هي المهارة الوحيدة التي ستبقى قلقًا من أن الطالب لم يكتسبها بشكل كامل بدون لمس الأجهزة الحقيقيّة؟

المحور الثالث: استشراف الآثار والمستقبل

1. **المهارات المكتســبة:** ما المهارات (الذهنيّة أو العمليّة) التي يكتســبها الطالب بشــكل أفضــل أو فريد من خلال المختبر الافتراضـيّ مقارنة بالتقليديّ؟

2. **نقد الممارسـة:** هل ترى أن الاعتماد الكامل على المختبرات الافتراضـيّة قد يخلق خريجًا "نظريًا" يفتقر للقدرة على التعامل مع مشكلات الواقع الصناعيّ غير المتوقعة؟

3. **جودة المخرجات:** بناءً على كل ما ســبق، هل تعتقد أن دمج هذه المختبرات يرتقي بجودة الخريج بشــكل حقيقي وملموس؟ أم أنه مجرد أداة مساعدة لا تغير كثيرًا في المحصلة النهائيّة؟

المحور الرابع: توصيات عملية وخاتمة

1. **تقويم الأدوات:** من بين المختبرات الافتراضـــيّة لتعليم المتحكمـات المنطقيـة القـابلـة للبرمجـة التي تعرفهـا أو استخدمتها، أيها توصي به للمؤسسات الأكاديمية؟ وما هي نقاط القوة التي تجعلك تفضله؟

2. **نصـيحة للمترددين:** لو طلب منك تقديم نصـيحة واحدة لرئيس قسـم أكاديمي متردد في الاسـتثمار بهذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

3. بناءً على خبرتكم العمليّة بكل مزاياها وتحدياتها، ما هو موقفكم المسـتقبليّ من هذه التقنيات؟ هل سـتسـتمرون في استخدامها والتوسع فيها، أم قد تفكرون في تقليص الاعتماد عليها؟

4. في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة جوهريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها تستحق الذكر؟

المسار الثاني: للخبراء الذين لم يستخدموا المختبرات الافتراضيّة (غير المستخدمين)

شُكرًا لحضرتكم على التوضيح. بما أنكم تعتمدون بشكل أساسيّ على [سيتم ذكر الأداة التي قام الخبير باختيارها (إما المختبرات التقليديّة "الماديّ"، أو برامج المحاكاة البرمجيّة)]، اســـمح لي أن أعرض عليك فيديو قصـــير (لمدة ثواني معدودة) يستعرض فكرة المختبرات الافتراضيّة.

تهدف هذه المقابلة إلى استثمار خبرتكم العريقة لفهم تصوراتكم، وانطباعاتكم المبدئيّة حول هذه التقنيّة.

-مشاهدة الفيديو-

المحور الأول: الانطباعات الأوليّة وأسباب عدم التبني.

1. **التصور الأوليّ:** بناءً على ما شاهدتموه، والذي قدّم لمحة سريعة عن المختبرات الافتراضيّة، كيف تبلور انطباعكم الأوليّ حول هذه التقنيّة؟ وما هي التصـورات المبدئيّة التي تكونت لديكم بشـأن إمكاناتها أو تحدياتها في سـياق التعليم الهندسيّ؟

2. **الحواجز المؤسسيّة:** من وجهة نظرك، ما هي الحواجز الرئيسيّة التي تمنع تبني هذه التقنيات في سياقنا المحليّ؟ ولكي نكون أكثر تحديدًا، إلى أي مدى يُمثل غياب الدعم المؤسسيّ (سواء كان ماليًا أو استراتيجيًا) عائقًا أساسيًا في رأيك؟

3. **التحفظات التربويّة:** على المستوى الشخصيّ كأكاديمي، هل لديك تحفظات تربويّة أو بيداغوجيّة تجاه استبدال أو دعم المختبر الحقيقيّ بالافتراضيّ؟ وما هي الجوانب في المختبر الفيزيائيّ التي تعتقد أنه من الصعب على أي بيئة افتراضيّة محاكاتها؟

المحور الثاني: تقويم الفوائد والمخاطر المتصورة

1. **الفوائد المتصورّة:** على الرغم من عدم استخدامك لها، ما هي الفوائد المحتملة التي قد تراها في هذه التقنيات لو تم تطبيقها بالشكل الصحيح؟

2. **المخاطر المُتصوّرة:** بالمقابل، ما هي أبرز المخاطر أو السلبيات التي تخشاها في حال تم الاعتماد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة في إعداد المهندسين والفنيين؟

3. **جودة المخرجات:** هل تعتقد أن الطالب الذي يعتمد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة سيكون بنفس كفاءة الطالب الذي قضى وقتًا أطول في المختبرات الحقيقيّة عند مواجهة سوق العمل؟ ولماذا؟

المحور الثالث: استشراف المستقبل وتقديم التوصيات

1. **شروط التبني:** لو افترضنا أن المؤسسة قررت تبني هذه التقنيّة، ما هي الشروط أو المتطلبات التي ترى أنها أساسيّة لنجاح هذه التجربة في مساقاتك؟

2. **نصيحة لصناع القرار:** لو طلب منك تقديم نصيحة واحدة لرئيس قسم أكاديمي يدرس فكرة الاستثمار في هذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

3. تغيُّر التصوّر: بعد هذا النقاش، هل تغير تصورك الأوليّ الذي ذكرته في البداية عن المختبرات الافتراضيّة بأي شكل من الأشكال؟

4. بعد هذا النقاش المُفصّـــل واســـتعراضـــنا لمختلف الجوانب، هل تولدت لديكم الرغبة في التفكير جديًا بتجربة هذه المختبرات الافتراضيّة في مساقاتكم المُستقبليّة، شريطة توفر الظروف المناسبة؟

5. في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة جوهريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها تستحق الذكر؟

المسار الثالث: صنّاع القرار (الإداريون)

شـــكرًا لحضـــرتكم. بما أنكم في موقع إداري، اســـمح لي أن أعرض عليك فيديو قصـــير يســـتعرض فكرة المختبرات الافتراضيّة.

تهدف هذه المقابلة إلى فهم رؤيتكم الاستراتيجيّة حول هذه التقنيات من منظور مؤسسي.

-مشاهدة الفيديو-

المحور الأول: السياق وبيئة التبني المؤسسي

1. **الدور الإداريّ:** بداية، هلا حدثتني عن دورك الإداريّ في المؤسـسـة، وخصـوصًـا علاقتك بعمليّة تطوير المناهج والمختبرات التقنيّة؟

2. **التصور الأوليّ:** بناءً على ما شاهدتموه، ما هو انطباعكم الأوليّ حول هذه التقنيّة؟ من منظور استراتيجي؟

3. **المناخ المؤسسيّ:** كيف تصف المناخ العام داخل مؤسستكم تجاه تبني تقنيات تعليميّة جديدة ومبتكرة؟ هل هناك مناخ مشجع ومُبادر، أم حذِر ومتروٍ؟ وكيف يظهر ذلك على أرض الواقع؟

4. **الأسـباب الرئيسـية لعدم التبني:** من منظورك الإداريّ، ما هي العوائق الرئيسـيّة (ماليّة، إداريّة، ثقافيّة) التي تمنع التبني الواسع لتقنيات مثل المختبرات الافتراضيّة في سياقنا التعليميّ؟

المحور الثاني: تقويم الفكرة من منظور إداري

1. **الفوائد الاســتراتيجيّة:** ما هي الفوائد الاســتراتيجيّة (مثل خفض التكاليف، زيادة أعداد الطلاب، تحســين الســمعة الأكاديمية) التي قد تجنيها المؤسسة من تطبيق هذه التقنيات؟

2. **المخاطر المؤسسيّة:** بالمقابل، ما هي أبرز المخاطر أو السلبيات المؤسسيّة التي تخشاها في حال تم الاعتماد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة؟

3. **جودة المخرجات وتنافسيّة الخريج:** هل تعتقد أن دمج هذه المختبرات الافتراضيّة سيرتقي بجودة الخريج بشكل يمثل قيمة مضافة حقيقة للمؤسسة في سوق العمل؟ وكيف تصف حجم هذا الأثر على تنافسيّة خريجيكم؟ (تحويلي كبير، متوسط، أم طفيف؟).

المحور الثالث: استشراف المستقبل واتخاذ القرار

1. **شروط اتخاذ القرار:** ما هي البيانات أو المتطلبات التي تحتاجها كصانع قرار قبل أن توصي بالاستثمار في مشروع لتبني المختبرات الافتراضيّة؟ (مثال: دراسة جدوى، تجربة رائدة ناجحة، توفر دعم فني).

2. **نصيحة لصناع القرار:** لو كنت تقدم نصيحة لعميد أو رئيس قسم في مؤسسة أخرى متردد في الاستثمار بهذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

3. **التغير في التصور:** بعد هذا النقاش، هل تغير تصورك الأوليّ عن هذه التقنيات بأي شكل من الأشكال؟

4. بناءً على كل ما ناقشناه من فوائد استراتيجيّة ومخاطر مؤسسيّة، هل ترون أن مؤسستكم ستتجه نحو دعم أو تبني مثل هذه التقنيات بشكل جدي في المستقبل القريب (خلال السنوات الثلاث القادمة مثلًا)؟

5. **نقطة جوهرية أخيرة:** في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة استراتيجيّة أو إداريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها حاسمة في هذا الموضوع؟

مع بالغ شكري وتقديري

الباحثة: غنى فاروق

ملحق (ج) الأداة الكميّة بعد تحكيم المُحكمين

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العُليا والبحث العلميّ

بسم الله الرحمن الرحيم

حضرة الأستاذ الدكتور ..... المُحترم/ة.

تحيّة طيبة وبعد،

تُجري الباحثة دراسة لاستكمال متطلبات الحصول على درجة الماجستير في تكنولوجيا التعليم والتعلُّم الإلكترونيّ، بعنوان: "توظيف المُختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)". ونظرًا لما تتمتعون به من علم ودراية والدراية والاهتمام في هذا المجال، فإنني أتوجه إليكم لإبداء آرائكم وملاحظاتكم القيّمة في تحكيم فقرات أدوات الدراســة الحاليّة؛ من حيث مناســبتها لقياس ما وضعت لقياسه، ووضوح الفقرات وسلامة صياغتها اللغويّة، وإضافة أي تعديل مقترح ترونه مناسبًا، من أجل إخراجها بالصورة المُناسبة لتحقيق أهداف الدراسة.

مع بالغ شكري وتقديري،

الباحثة: غنى فاروق توفيق شنطي

بإشراف: أ.د. حمدي يونس أحمد أبو جراد

بيانات المُحَكِّم:

اسم المُحَكِّم	الجامعة	الرتبة العلميّة	التخصص

القسم الأول: خصائص عينة الدراسة (البيانات الديموغرافيّة والوظيفيّة)

الرجاء التكرّم بوضع علامة (✓) في المربع المناسب أو تعبئة الفراغ

- المُسمى الوظيفي الحالي:

☐ عضو هيئة تدريس. ☐ مشرف مختبر.

☐ رئيس قسم. ☐ أخرى .....

اسم المؤسسة التي تعمل بها سواء كانت (جامعة أو كليّة تقنيّة أو معهد تقنيّ):

.....

- المؤهل العلميّ:

☐ دبلوم. ☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير. ☐ دكتوراة.

- سنوات الخبرة في مجال تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (تدريسًا أو إشرافًا على المختبرات):

☐ أقل من 5 سنوات.

☐ من 5 إلى 10 سنوات.

☐ أكثر من 10 سنوات.

- أي من العبارات الآتية تصف بشكل أفضل ممارستكم الحالية في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟

☐ أقوم باستخدام أو الإشراف على مختبرات افتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة.

☐ لا أستخدم مختبرات افتراضيّة، بل أعتمد بشكل أساسي على برامج المحاكاة البرمجيّة (Simulation Software) لرسم واختبار مخططات الـLadder.

☐ لا أستخدم أي برامج محاكاة، بل أعتمد بشكل كامل على المختبرات المادية التقليدية.

أخرى (يرجى التحديد): .....

- التخصص الهندسيّ الذي تقومون بتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من خلال مساقاته أو مختبراته: مثال: (الهندسة الكهربائيّة، هندسة الأتمتة الصناعيّة، هندسة الميكاترونيكس، ...).

.....

- المستوى الأكاديمي للبرامج التي تشرفون على مختبراتها أو تدرسون فيها (يُمكن اختيار أكثر من إجابة):

☐ دبلوم.

☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير.

- يُرجى ذكر اسم مساق/مساقات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة التي تشرفون على مختبرها أو تقومون بتدريسها:

.....

القسم الثاني: محاور الاستبانة

الأول: محور الواقع

يُرجى وضـــع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد **درجة الموافقة** الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف واقع توظيف المختبر الافتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
1	موجبة	يتزايد استخدام المختبرات الافتراضيّة في المؤسسات التعليمية لتعليم PLC حاليًا.					
2	موجبة	المحتوى التعليمي المتوفر في المختبرات الافتراضيّة الحالية يغطي الجوانب الأساسية لبرمجة الـ PLC.					
3	موجبة	المختبرات الافتراضيّة المتاحة حاليًا تحاكي الأنظمة الصناعية الواقعية بكفاءة عالية.					
4	موجبة	تستخدم المختبرات الافتراضيّة حاليًا لتقليل الازدحام في المختبرات التقليديّة وتحسين إمكانيّة الوصول للطلاب.					
5	موجبة	تُوَفِّر المؤسسات التعليمية الدعم الفنيّ والتقنيّ اللازم لتشغيل المختبرات الافتراضيّة لتعليم PLC بفعاليّة.					
6	موجبة	يمتلك أعضاء هيئة التدريس والمدربون المهارات الكافية لدمج المختبرات الافتراضيّة في المقررات الدراسية.					
7	موجبة	المختبرات الافتراضيّة تُستخدم حاليًا كأداة مكملة للمختبرات التقليدية وليست بديلًا عنها.					
8	موجبة	يُقَيَّم أداء الطلبة في المختبرات الافتراضيّة حاليًا باستخدام أدوات تقويم متنوعة (مثل: محاكاة خطوط إنتاج مع تقديم تقرير).					
9	موجبة	جودة المحتوى التعليميّ والتفاعليّ في برمجيات المختبرات الافتراضيّة المُتاحة حاليًا تلبي توقعات أعضاء هيئة التدريس.					

الثاني: محور التحديات

يُرجى وضع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد درجة التحدي الذي تُمثله كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف التحديات التي تواجه توظيف المختبر الافتراضـــيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
10	سالبة	التكلفــة العــاليــة لتراخيص برامج المختبرات الافتراضيّة المتطورة.					
11	سالبة	الحاجة إلى أجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية لتشغيل برامج المحاكاة بكفاءة.					
12	سالبة	صـــعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية والميكانيكية (Hardware Faults) بشكل واقعي.					
13	سالبة	ضــعف البنية التحتية لشـبكة الإنترنت في بعض المؤسسات يَعُوقُ الوصول السلس للمختبرات.					
14	سالبة	قلة تدريب أعضـــاء هيئة التدريس والمدربين على كيفية تصـــميم تجارب تعليمية فعّالة باســـتخدام المختبرات الافتراضيّة.					
15	سالبة	صعوبة تقويم المهارات العمليّة والحسيّة (Hands-on Skills) للطلاب بشكل دقيق عن بعد.					
16	سالبة	مقاومـة التغيير من قبـل بعض أعضـــاء هيئـة التدريس المعتادين على الطرق التقليدية.					
17	سالبة	صعوبة ربط المُخرجات في المختبرات الافتراضيّة بمتطلبات الاعتماد الأكاديمي الدوليّ.					
18	سالبة	ضـــعف دافعية بعض الطلاب للتفاعل مع بيئات التعلُّم الافتراضـــيّـة مقـارنـة بـالتجـارب العمليـة الملموسة.					
19	سالبة	غياب الدعم الإداري والمؤســســـي الكافي لتوفير الموارد اللازمة وتبني هذه التقنيات.					
20	سالبة	عدم وجود معايير واضــحة لتقويم جودة برمجيات المختبرات الافتراضيّة واختيار الأنسب منها.					

الثالث: محور الآثار المتوقعة

يُرجى وضـــع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد درجة الموافقة الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصـف الآثار الإيجابيّة المتوقعة لتوظيف المختبر الافتراضـيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
21	موجبة	تســـاهم في تعميق فهم الطلاب للمفاهيم النظريـة من خلال التطبيق والمشـــاهدة الفورية للنتائج.					
22	موجبة	تزيد من فرص وصـول الطلاب للتعلم في أي وقت ومن أي مكان (التعلم المرن).					
23	موجبة	توفر بيئـة تعليميّـة آمنـة تتيح تجربـة ســـيناريوهات معقدة أو خطرة دون أي مخاطر حقيقية.					
24	موجبة	تطور لدى الطلاب مهارات حل المشكلات والتفكير النقدي من خلال محاكاة أعطال النظام.					
25	موجبة	تســـاهم في تقليل التكاليف التشـــغيلية للمختبرات (صـــيانة، اســـتهلاك، تحديث الأجهزة المادية).					
26	موجبة	تتيح تنفيذ تجارب لا يُمكن إجراؤها في المختبرات التقليدية بســـبب التكلفة أو الخطورة.					
27	موجبة	تساهم في سد الفجوة بين التعليم الأكاديمي ومتطلبات سوق العمل الصناعي الحديث.					

مع بالغ شكري وتقديري

الباحثة: غنى فاروق

ملحق (ح) الأداة الكميّة بعد إجراء فحص الخصائص السيكومتريّة

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العُليا والبحث العلميّ

بسم الله الرحمن الرحيم

حضرة الأستاذ الدكتور ..... المُحترم/ة.

تحيّة طيبة وبعد،

تُجري الباحثة دراسة لاستكمال متطلبات الحصول على درجة الماجستير في تكنولوجيا التعليم والتعلُّم الإلكترونيّ، بعنوان: "توظيف المُختبرات الافتراضـــيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المُتوقعة)". ونظرًا لما تتمتعون به من علم ودراية والدراية والاهتمام في هذا المجال، فإنني أتوجه إليكم لإبداء آرائكم وملاحظاتكم القيّمة في تحكيم فقرات أدوات الدراســة الحاليّة؛ من حيث مناســبتها لقياس ما وضعت لقياسه، ووضوح الفقرات وسلامة صياغتها اللغويّة، وإضافة أي تعديل مقترح ترونه مناسبًا، من أجل إخراجها بالصورة المُناسبة لتحقيق أهداف الدراسة.

مع بالغ شكري وتقديري،

الباحثة: غنى فاروق توفيق شنطي

بإشراف: أ.د. حمدي يونس أحمد أبو جراد

بيانات المُحَكِّم:

اسم المُحَكِّم	الجامعة	الرتبة العلميّة	التخصص

القسم الأول: خصائص عينة الدراسة (البيانات الديموغرافيّة والوظيفيّة)

الرجاء التكرّم بوضع علامة (✓) في المربع المناسب أو تعبئة الفراغ

- المُسمى الوظيفي الحالي:

☐ عضو هيئة تدريس. ☐ مشرف مختبر.

☐ رئيس قسم. ☐ أخرى .....

اسم المؤسسة التي تعمل بها سواء كانت (جامعة أو كليّة تقنيّة أو معهد تقنيّ):

.....

- المؤهل العلميّ:

☐ دبلوم. ☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير. ☐ دكتوراة.

- سنوات الخبرة في مجال تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (تدريسًا أو إشرافًا على المختبرات):

☐ أقل من 5 سنوات.

☐ من 5 إلى 10 سنوات.

☐ أكثر من 10 سنوات.

- أي من العبارات الآتية تصف بشكل أفضل ممارستكم الحالية في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟

☐ أقوم باستخدام أو الإشراف على مختبرات افتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة.

☐ لا أستخدم مختبرات افتراضيّة، بل أعتمد بشكل أساسي على برامج المحاكاة البرمجيّة (Simulation Software) لرسم واختبار مخططات الـLadder.

☐ لا أستخدم أي برامج محاكاة، بل أعتمد بشكل كامل على المختبرات المادية التقليدية.

أخرى (يرجى التحديد): .....

- التخصص الهندسيّ الذي تقومون بتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من خلال مساقاته أو مختبراته: مثال: (الهندسة الكهربائيّة، هندسة الأتمتة الصناعيّة، هندسة الميكاترونيكس، ...).

.....

- المستوى الأكاديمي للبرامج التي تشرفون على مختبراتها أو تدرسون فيها (يُمكن اختيار أكثر من إجابة):

☐ دبلوم.

☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير.

- يُرجى ذكر اسم مساق/مساقات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة التي تشرفون على مختبرها أو تقومون بتدريسها:

.....

القسم الثاني: محاور الاستبانة

الأول: محور الواقع

يُرجى وضـــع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد **درجة الموافقة** الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف واقع توظيف المختبر الافتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
واقع جودة التقنيّة وتأثيرها							
1	موجبة	يتزايد اســـتخدام المختبرات الافتراضـــيّة في المؤسسات التعليمية لتعليم PLC حاليًا.					
2	موجبة	المحتوى التعليمي المتوفر في المختبرات الافتراضـــيّة الحالية يغطي الجوانب الأســـاســـية لبرمجة الـ PLC.					
3	موجبة	المختبرات الافتراضـــيّة المتاحة حاليًا تحاكي الأنظمة الصناعية الواقعية بكفاءة عالية.					
4	موجبة	جودة المحتوى التعليميّ والتفاعليّ في برمجيات المختبرات الافتراضـــيّة المُتاحة حاليًا تلبي توقعات أعضاء هيئة التدريس.					
الواقع المؤسسيّ والبيداغوجيّ							
5	موجبة	تُوفِّر المؤسسات التعليمية الدعم الفنيّ والتقنيّ اللازم لتشغيل المختبرات الافتراضيّة لتعليم PLC بفعاليّة.					
6	موجبة	يمتلك أعضاء هيئة التدريس والمدربون المهارات الكافية لدمج المختبرات الافتراضيّة في المقررات الدراسية.					
7	موجبة	المختبرات الافتراضـــيّة تُســـتخدم حاليًا كأداة مكملة للمختبرات التقليدية وليست بديلًا عنها.					
8	موجبة	يُقَيَّم أداء الطلبة في المختبرات الافتراضيّة حاليًا باستخدام أدوات تقويم متنوعة (مثل: محاكاة خطوط إنتاج مع تقديم تقرير).					

المحور الثاني: محور التحديات

يُرجى وضع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد درجة التحدي الذي تُمثله كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف التحديات التي تواجه توظيف المختبر الافتراضـــيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
التحديات التقنيّة والماديّة							
9	سالبة	التكلفــة العــاليــة لتراخيص برامج المختبرات الافتراضيّة المتطورة.					
10	سالبة	الحاجة إلى أجهزة حاسـوب ذات مواصـفات عالية لتشغيل برامج المحاكاة بكفاءة.					
11	سالبة	صـــعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية والميكانيكية (Hardware Faults) بشكل واقعي.					
12	سالبة	ضـــعف البنية التحتية لشـــبكة الإنترنت في بعض المؤسسات يعوق الوصول السلس للمختبرات.					
التحديات التربوية والبيداغوجيّة							
13	سالبة	قلة تدريب أعضـــاء هيئة التدريس والمدربين على كيفية تصـــميم تجارب تعليمية فعّالة باســـتخدام المختبرات الافتراضيّة.					
14	سالبة	صعوبة تقويم المهارات العمليّة والحسيّة (Hands-on Skills) للطلاب بشكل دقيق عن بعد.					
15	سالبة	ضـــعف دافعية بعض الطلاب للتفاعل مع بيئات التعلُّم الافتراضـــيّـة مقـارنـة بـالتجـارب العمليـة الملموسة.					
التحديات المؤسسيّة والثقافيّة							
16	سالبة	مقاومة التغيير من قبل بعض أعضاء هيئة التدريس المعتادين على الطرق التقليدية.					
17	سالبة	غياب الدعم الإداري والمؤســـســـي الكافي لتوفير الموارد اللازمة وتبني هذه التقنيات.					
18	سالبة	عدم وجود معايير واضـــحة لتقويم جودة برمجيات المختبرات الافتراضيّة واختيار الأنسب منها.					

الثالث: محور الآثار المتوقعة

يُرجى وضـــع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد درجة الموافقة الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصـف الآثار الإيجابيّة المتوقعة لتوظيف المختبر الافتراضـيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

الرقم	اتجاه الفقرة	الفقرة	ملاءمة الفقرة		صياغة الفقرة		التعديل المقترح إن وجد
			ملائمة	غير ملائمة	مناسبة	غير مناسبة	
الآثار التربويّة والمهاريّة على الطالب							
19	موجبة	تســـاهم في تعميق فهم الطلاب للمفاهيم النظريـة من خلال التطبيق والمشـــاهدة الفورية للنتائج.					
20	موجبة	تزيد من فرص وصـول الطلاب للتعلم في أي وقت ومن أي مكان (التعلم المرن).					
21	موجبة	توفر بيئـة تعليميّـة آمنـة تتيح تجربـة ســـيناريوهات معقدة أو خطرة دون أي أخطار حقيقية.					
22	موجبة	تطور لدى الطلاب مهارات حل المشكلات والتفكير النقدي من خلال محاكاة أعطال النظام.					
23	موجبة	تتيح تنفيذ تجـارب لا يُمكن إجراؤها في المختبرات التقليـدية بســـبب التكلفة أو الخطورة.					
الآثار الاستراتيجيّة والمؤسسيّة							
24	موجبة	تســـاهم في تقليل التكاليف التشـــغيلية للمختبرات (صـــيانة، اســـتهلاك، تحديث الأجهزة المادية).					
25	موجبة	تساهم في سد الفجوة بين التعليم الأكاديمي ومتطلبات سوق العمل الصناعي الحديث.					

مع بالغ شكري وتقديري

الباحثة: غنى فاروق

ملحق (خ) كتب تسهيل المهمة

بسم الله الرحمن الرحيم

Al-Quds Open University
Academic Affairs
Deanship of Graduate Studies and Scientific Research
Ramallah - P.O.Box 1804 - Postcode: P6058238
Tel: 02/2976240 - 02/2956073
Fax: 02/2963738
Email - Graduate Studies: fgs@qou.edu
Email - Scientific Research: sprgs@qou.edu

جامعة القدس المفتوحة
الشؤون الأكاديمية
عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي
رام الله - ص.ب 1804 - الرمز البريدي: P6058238
هاتف: 02/2976240 - 02/2956073
فاكس: 02/2963738
بريد الكتروني - الدراسات العليا: fgs@qou.edu
بريد الكتروني - البحث العلمي sprgs@qou.edu

الرقم: ع د ع ب /24/2924

التاريخ: 2024/10/16

لمن يهمه الأمر

تحية وبعد،

تسهيل مهمة

تهديكم عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي في جامعة القدس المفتوحة أطيب التحيات، وبالإشارة إلى الموضوع أعلاه يقوم الطالب/ة (غنى فاروق توفيق شنطي)، بإعداد رسالة ماجستير في تخصص "تكنولوجيا التعليم والتعلم الالكتروني" الموسومة بـ: (توظيف المختبرات الافتراضية في تعليم المتحكمات المنطقية المبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المتوقعة)). وعليه، يرجى توجيهاتكم لتسهيل مهمة الطالب/ة في الحصول على المعلومات اللازمة وإجراء المقابلات لتوزيع أداة الدراسة على الأكاديميين، والأساتذة المشاركين، وفنيي المختبرات في الجامعات والكليات الفلسطينية، وذلك إستكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير، شاكرين لكم جهودكم بما يخدم مجتمعنا الفلسطيني.

وتفضلو بقبول فائق الإحترام،

أ. د. محمد شاهين
عميد الدراسات العليا والبحث العلمي

نسخة:
- الملف

بسم الله الرحمن الرحيم

Al-Quds Open University
Academic Affairs
Deanship of Graduate Studies
and Scientific Research
Ramallah - P.O. Box 1804 - Postcode: P6058238
Tel: 02/2976240 - 02/2956073
Fax: 02/2963738
Email - Graduate Studies: fgs@qou.edu
Email - Scientific Research: sprgs@qou.edu

جامعة القدس المفتوحة
الشؤون الأكاديمية
عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي
رام الله - ص.ب 1804 - الرمز البريدي: P6058238
هاتف: 02/2976240 - 02/2956073
فاكس: 02/2963738
بريد الكتروني - الدراسات العليا: fgs@qou.edu
بريد الكتروني - البحث العلمي sprgs@qou.edu

الرقم: ع د ع ب/955 /2025

التاريخ: 2025/03/16

لمن يهمه الأمر

تحية وبعد،

تسهيل مهمة

تهديكم عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي في جامعة القدس المفتوحة أطيب التحيات، وبالإشارة إلى الموضوع أعلاه يـ/تقوم الطالب/ة (غنى فاروق توفيق شنطي)، رسالة ماجستير في تخصص "تكنولوجيا التعليم والتعلم الإلكتروني" الموسومة بـ: (توظيف المختبرات الإفتراضية في تعليم المتحكمات المنطقية المبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال "الواقع، التحديات، الأثار المتوقعة"). وعليه، يرجى توجيهاتكم لتسهيل مهمة الطالب/ة في الحصول على المعلومات اللازمة لتوزيع أداة الدراسة إلكترونياً على أعضاء هيئة التدريس و فنيي مختبرات ومعلمي المتحكمات المنطقية المبرمجة (PLC)، وذلك إستكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير، شاكرين لكم جهودكم بما يخدم مجتمعنا الفلسطيني.

وتفضلوا بقبول فائق الإحترام،

د. صلاح صبري
عميد الدراسات العليا والبحث العلمي

جامعة القدس المفتوحة
عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي

نسخة:
- الملف

بسم الله الرحمن الرحيم

Al-Quds Open University
Academic Affairs
Deanship of Graduate Studies
and Scientific Research
Ramallah - P.O. Box 1804 - Postcode: P6058238
Tel: 02/2976240 - 02/2956073
Fax: 02/2963738
Email - Graduate Studies: fgs@qou.edu
Email - Scientific Research: sprgs@qou.edu

جامعة القدس المفتوحة
الشؤون الأكاديمية
عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي
رام الله - ص.ب 1804 - الرمز البريدي: P6058238
هاتف: 02/2976240 - 02/2956073
فاكس: 02/2963738
بريد الكتروني - الدراسات العليا: fgs@qou.edu
بريد الكتروني - البحث العلمي sprgs@qou.edu

الرقم: ع د ع ب/955 /2025

التاريخ: 2025/03/25

لمن يهمه الأمر

تحية وبعد،

تسهيل مهمة

تهديكم عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي في جامعة القدس المفتوحة أطيب التحيات، وبالإشارة إلى الموضوع أعلاه تقوم الطالب/ة (غنى فاروق توفيق شنطي) بإعداد رسالتها الجامعية في تخصص "تكنولوجيا التعليم والتعلم الإلكتروني"، الموسومة بـ: (توظيف المختبرات الافتراضية في تعليم المتحكمات المنطقية المبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال "الواقع، التحديات، الأثار، المتوقعة"). وعليه، يرجى توجيهاتكم لتسهيل مهمة الطالبة في الحصول على المعلومات اللازمة لتوزيع أداة الدراسة إلكترونيا على أعضاء هيئة التدريس وفنيي المختبرات ومعلمي المتحكمات المنطقية المبرمجة (PLC)، وذلك استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير، شاكرين لكم جهودكم بما يخدم مجتمعنا الفلسطيني.

علماً أن أداة الدراسة قد عرضت على لجنة علمية من ذوي الرتب العلمية والاختصاص وتم مراجعتها وتنقيحها للتأكد من التزامها بأخلاقيات البحث العلمي وخلوها من أي أسئلة خارج السياق العلمي والأخلاقي او التطرف.

وتفضلوا بقبول فائق الإحترام،

د. صلاح صبري
عميد الدراسات العليا والبحث العلمي

نسخة:
- الملف

ملحق (د) الأداة الكميّة في صورتها النهائيّة

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العُليا والبحث العلميّ

مقدمة الاستبانة:

إلى من يهمه الأمر في جامعات الضفة الغربية وكلياتها التقنيّة المحترمين،

أنا غنى فاروق، باحثة ماجستير، يسرُني أن أضع بين أيديكم هذه الاستبانة التي تشكل جزءًا أساسيًا من دراسة علميّة بعنوان:

توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المتوقعة)

تسعى إلى استقصاء آراء الخبراء والمتخصصين أمثالكم حول واقع وتحديات والآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة.

إن مشاركتكم القيّمة من خلال الإجابة على فقرات هذه الاستبانة تعد مساهمة جليلة في إثراء البحث وتحقيق أهدافه.

وأؤكد لكم أن جميع المعلومات التي سَتُقَدَّمُ ستُعامل بسريّة تامة، ولن تستخدم إلا لأغراض البحث العلمي فقط.

ملاحظة: جميع المختبرات الافتراضيّة في الاستبانة، يقصد بها مُختبرات افتراضيّة للمتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة PLC.

شكرًا جزيلًا على كريم تعاونكم.

مع خالص التقدير.

الباحثة: غنى فاروق

القسم الأول: خصائص عينة الدراسة (البيانات الديموغرافيّة والوظيفيّة)

الرجاء التكرّم بوضع علامة (✓) في المربع المناسب أو تعبئة الفراغ

- المُسمى الوظيفي الحالي:

☐ عضو هيئة تدريس. ☐ مشرف مختبر.

☐ رئيس قسم. ☐ أخرى .....

اسم المؤسسة التي تعمل بها سواء كانت (جامعة أو كليّة تقنيّة أو معهد تقنيّ):

.....

- المؤهل العلميّ:

☐ دبلوم. ☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير. ☐ دكتوراة.

- سنوات الخبرة في مجال تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (تدريسًا أو إشرافًا على المختبرات):

☐ أقل من 5 سنوات.

☐ من 5 إلى 10 سنوات.

☐ أكثر من 10 سنوات.

- أي من العبارات الآتية تصف بشكل أفضل ممارستكم الحالية في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة؟

☐ أقوم باستخدام أو الإشراف على مختبرات افتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة.

☐ لا أستخدم مختبرات افتراضيّة، بل أعتمد بشكل أساسي على برامج المحاكاة البرمجيّة (Simulation Software) لرسم واختبار مخططات الـLadder.

☐ لا أستخدم أي برامج محاكاة، بل أعتمد بشكل كامل على المختبرات المادية التقليدية.

أخرى (يرجى التحديد): .....

- التخصص الهندسيّ الذي تقومون بتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من خلال مساقاته أو مختبراته: مثال: (الهندسة الكهربائيّة، هندسة الأتمتة الصناعيّة، هندسة الميكاترونيكس، ...).

.....

- المستوى الأكاديمي للبرامج التي تشرفون على مختبراتها أو تدرسون فيها (يُمكن اختيار أكثر من إجابة):

☐ دبلوم.

☐ بكالوريوس.

☐ ماجستير.

- يُرجى ذكر اسم مساق/مساقات المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة التي تشرفون على مختبرها أو تقومون بتدريسها:

.....

القسم الثاني: محاور الاستبانة

الأول: محور الواقع

يُرجى وضـــع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد **درجة الموافقة** الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف واقع توظيف المختبر الافتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

	الفقرة	أوافق بشدّة	أوافق	مُحايد	لا أوافق	لا أوافق بشدّة
	واقع جودة التقنيّة وتأثيرها					
1	يتزايد استخدام المختبرات الافتراضيّة في المؤسسات التعليمية لتعليم PLC حاليًا.					
2	المحتوى التعليمي المتوفر في المختبرات الافتراضـيّة الحالية يغطي الجوانب الأساسية لبرمجة الـ PLC.					
3	المختبرات الافتراضـيّة المتاحة حاليًا تحاكي الأنظمة الصناعية الواقعية بكفاءة عالية.					
4	يُلبي المحتوى التعليميّ والتفـاعليّ في برمجيـات المختبرات الافتراضـيّة المُتاحة حاليًا توقعات أعضـاء هيئة التدريس.					
	الواقع المؤسسيّ والبيداغوجيّ					
5	تُوفِّر المؤسسات التعليمية الدعم الفنيّ والتقنيّ اللازم لتشغيل المختبرات الافتراضيّة لتعليم PLC بفعاليّة.					
6	يمتلك أعضـــاء هيئة التدريس والمدربون المهارات الكافية لدمج المختبرات الافتراضـــيّة في المقررات الدراسية.					
7	المختبرات الافتراضـــيّة تُســـتخدم حاليًا كأداة مكملة للمختبرات التقليدية وليست بديلًا عنها.					
8	يُقَيَّم أداء الطلبة في المختبرات الافتراضـــيّة حاليًا باسـتخدام أدوات تقويم متنوعة (مثل: محاكاة خطوط إنتاج مع تقديم تقرير).					

الثاني: محور التحديات

يُرجى وضع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد **درجة التحدي** الذي تُمثله كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصف التحديات التي تواجه توظيف المختبر الافتراضيّ في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

	الفقرة	يُشكل تحديًا كبيرًا جدًا	يُشكل تحديًا كبيرًا	يُشكل تحديًا متوسطًا	يُشكل تحديًا قليلًا	لا يُشكل تحديًا على الإطلاق
	التحديات التقنيّة والماديّة					
9	التكلفة العالية لتراخيص برامج المختبرات الافتراضيّة المتطورة.					
10	الحاجة إلى أجهزة حاسوب ذات مواصفات عالية لتشغيل برامج المحاكاة بكفاءة.					
11	صعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية والميكانيكية (Hardware Faults) بشكل واقعي.					
12	ضعف البنية التحتية لشبكة الإنترنت في بعض المؤسسات يعوق الوصول السلس للمختبرات.					
	التحديات التربوية والبيداغوجيّة					
13	ضعف تدريب أعضاء هيئة التدريس والمدربين على كيفية تصميم تجارب تعليمية فعّالة باستخدام المختبرات الافتراضيّة.					
14	صعوبة تقويم المهارات العمليّة والحسيّة (Hands-on Skills) للطلاب بشكل دقيق عن بعد.					
15	ضعف دافعية بعض الطلاب للتفاعل مع بيئات التعلُّم الافتراضيّة مقارنة بالتجارب العملية الملموسة.					
	التحديات المؤسسيّة والثقافيّة					
16	مقاومة التغيير من قبل بعض أعضاء هيئة التدريس المعتادين على الطرق التقليدية.					
17	غياب الدعم الإداري والمؤسسي الكافي لتوفير الموارد اللازمة وتبني هذه التقنيات.					
18	عدم وجود معايير واضحة لتقويم جودة برمجيات المختبرات الافتراضيّة واختيار الأنسب منها.					

الثالث: محور الآثار المتوقعة

يُرجى وضـــع علامة (✓) أمام الخيار الذي يُحدد **درجة الموافقة** الذي تُمثلها كل عبارة من العبارات التالية، والتي تصـف الآثار الإيجابيّة المتوقعة لتوظيف المختبر الافتراضــيّ في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) من وجهة نظركم:

	الفقرة	أوافق بشدّة	أوافق	مُحايد	لا أوافق	لا أوافق بشدّة
	الآثار التربويّة والمهاريّة على الطالب					
19	تساهم في تعميق فهم الطلاب للمفاهيم النظرية من خلال التطبيق والمشاهدة الفورية للنتائج.					
20	تزيد من فرص وصـول الطلاب للتعلم في أي وقت ومن أي مكان (التعلم المرن).					
21	توفر بيئة تعليميّة آمنة تتيح تجربة ســـيناريوهات معقدة أو خطرة دون أي مخاطر حقيقية.					
22	تطور لدى الطلاب مهارات حل المشكلات والتفكير النقدي من خلال محاكاة أعطال النظام.					
23	تتيح تنفيذ تجارب لا يُمكن إجراؤها في المختبرات التقليدية بسبب التكلفة أو الخطورة.					
	الآثار الاستراتيجيّة والمؤسسيّة					
24	تســـاهم في تقليل التكاليف التشـــغيلية للمختبرات (صيانة، استهلاك، تحديث الأجهزة المادية).					
25	تســـاهم في ســـد الفجوة بين التعليم الأكاديمي ومتطلبات سوق العمل الصناعي الحديث.					

ملحق (ذ) الأداة النوعيّة في صورتها النهائيّة

جامعة القدس المفتوحة

عمادة الدراسات العُليا والبحث العلميّ

مقدمة المقابلة:

أهلًا بك أستاذ/ة /دكتور/ة [.....] وشكرًا جزيلًا لوقتك. أنا غنى فاروق، باحثة ماجستير، ودراستي تتناول واقع وتحديات والآثار المتوقعة لتوظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المُتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة بعنوان: "**توظيف المختبرات الافتراضيّة في تعليم المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المتوقعة)**".

تهدف هذه المقابلة إلى الاستماع إلى وجهة نظركم وفهم رؤيتكم العميقة وخبرتكم العمليّة التي لا يمكن للاستبانة وحدها أن تقيسها. أود أن أؤكد لحضرتكم سَيُتَعَامَلُ مع جميع المعلومات في هذا الحوار بسريّة تامة لأغراض البحث العلميّ فقط، مع إخفاء كامل للهويّة عند استخدام أي اقتباسات. المقابلة ستستغرق حوالي 20 دقيقة، وهل تسمحون لي بتسجيلها لتسهيل عمليّة التحليل لاحقًا؟ أود التأكيد أن التسجيل الصوتي هو لغايات التوثيق والتحليل العلمي فقط، وسيتم إتلافه فور الانتهاء من تفريغ البيانات. الباحثة: غنى فاروق

المحور التمهيدي: الخبرة وتحديد المسار.

1. **سؤال افتتاحي:** بداية، هلا حدثتني عن خلفيتكم المهنيّة والأكاديمية، وخصوصًا علاقتك بتدريس المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة أو الإشراف على مختبراته؟ (دُوِّنَت ملاحظات عن المؤهل العلميّ، المسمى الوظيفيّ، سنوات الخبرة في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة أو الإشراف على مختبره، المساقات والفئة التي يدرسها، المستوى الأكاديمي للطلاب).

2. **سؤال تحديد المسار:** شكرًا لك على التوضيح. في ممارستكم الحاليّة لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة، ما هي الأدوات التي تعتمدون عليها بشكل أساسيّ؟ هل تستخدمون المختبرات التقليديّة "ماديّة" فقط، أم برامج المحاكاة البرمجيّة، أم المختبرات الافتراضيّة؟

- يُنْتَقَلُ إلى مسار المقابلة الأول (في حال اخْتِيَارِ المختبرات الافتراضيّة).
- يُنْتَقَلُ إلى مسار المقابلة الثاني (في حال اخْتِيَارِ برامج محاكاة برمجية فقط أو مختبرات تقليديّة "ماديّة" فقط).

المسار الأول: للخبراء الذين استخدموا المختبرات الافتراضيّة (المستخدمون)

المحور الأول: تشخيص الواقع والتجربة

1. **وصف التجربة:** بالنظر إلى تجربتك ما هي أبرز الفروقات التي لمستها بين التدريس باستخدام المختبر التقليدي والافتراضيّ من حيث تفاعل الطلاب وفهمهم للمادة؟

2. **قصة نجاح:** هل يمكنك أن تشاركني بموقف محدد أو قصة نجاح شعرت فيها أن المختبر الافتراضيّ أحدث فرقًا جوهريًا لم يكن ليتحقق في المختبر التقليدي؟

3. **تجربة محبطة:** في المقابل، هل واجهت تحديًا أو تجربة محبطة حيث شعرت أن المختبر الافتراضيّ لم يحقق الهدف المرجو منه؟ وماذا كانت الأسباب في رأيك؟

المحور الثاني: تحليل التحديات

1. **أولوية المعوقات:** عند الحديث عن معوقات التوظيف الفعال لهذه التقنيات، نجد تحديات (تقنية، تربوية، ومؤسسيّة). من واقع تجربتك، أي من هذه الأنواع الثلاثة يمثل "عنق الزجاجة" الحقيقي في سياقنا المحلي؟ ولماذا؟

2. **الدعم المؤسسي:** بالحديث عن التحديات المؤسسيّة بالتحديد من واقع تجربتك، كيف تصف مستوى الدعم المؤسسيّ الذي تلقيته لتوظيف هذه التقنيات؟

- داعمة على أرض الواقع (مثل: توفير تراخيص البرامج اللازمة، وجود ميزانيّة مخصصة لهذه التقنيات، تنظم ورش عمل لتدريب أعضاء هيئة التدريس، تشجيع إداري واضح لتبنيها).
- غير داعمة / نقص في الدعم (مثل: نقص الميزانيّة، مقاومة من الإدارة العليا، غياب الرؤية الاستراتيجيّة الواضحة لدمج التكنولوجيا في التعليم).

3. **الفجوة الحسيّة:** تسعى هذه الأدوات لتعويض غياب "الإحساس الفيزيائي" بالمعدات. إلى أي مدى نجحت في ذلك برأيك؟ وهل تبقى هناك فجوة معرفيّة أو مهاريّة لا يمكن سدها إلا بالمختبر الحقيقيّ؟

4. لنفترض أنك صممت تجربة مثاليّة في مختبر افتراضيّ، ما هي المهارة الوحيدة التي ستبقى قلقًا من أن الطالب لم يكتسبها بشكل كامل بدون لمس الأجهزة الحقيقيّة؟

المحور الثالث: استشراف الآثار والمستقبل

1. **المهارات المكتسبة:** ما المهارات (الذهنيّة أو العمليّة) التي يكتسبها الطالب بشكل أفضل أو فريد من خلال المختبر الافتراضيّ مقارنة بالتقليديّ؟

2. **تقويم الاعتمادية:** هل ترى أن الاعتماد الكامل على المختبرات الافتراضـــيّة قد يخلق خريجًا "نظريًا" يفتقر للقدرة على التعامل مع مشكلات الواقع الصناعيّ غير المتوقعة؟

3. **جودة المخرجات:** بناءً على كل ما ســبق، هل تعتقد أن دمج هذه المختبرات يرتقي بجودة الخريج بشــكل حقيقي وملموس؟ أم أنه مجرد أداة مساعدة لا تغير كثيرًا في المحصلة النهائيّة؟

المحور الرابع: توصيات عملية وخاتمة

1. **تقويم الأدوات:** من بين المختبرات الافتراضـــيّة لتعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة التي تعرفها أو استخدمتها، أيها توصي به للمؤسسات الأكاديمية؟ وما هي نقاط القوة التي تجعلك تفضله؟

2. **نصـيحة للمترددين:** لو طلب منك تقديم نصـيحة واحدة لرئيس قسـم أكاديمي متردد في الاسـتثمار بهذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

3. **الموقف المستقبلي:** بناءً على خبرتكم العمليّة بكل مزاياها وتحدياتها، ما هو موقفكم المستقبليّ من هذه التقنيات؟ هل ستستمرون في استخدامها والتوسع فيها، أم قد تفكرون في تقليص الاعتماد عليها؟

4. **خاتمة:** في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة جوهريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها تستحق الذكر؟

المسار الثاني: للخبراء الذين لم يستخدموا المختبرات الافتراضيّة (غير المستخدمين)

شَـكرًا لحضـرتكم على التوضـيح. بما أنكم تعتمدون بشـكل أسـاسـيّ على [سـيتم ذكر الأداة التي اختارها الخبير (إما المختبرات التقليديّة "الماديّ"، أو برامج المحاكاة البرمجيّة)]، اســـمح لي أن أعرض عليك فيديو قصـــير (لمدة ثوانٍ معدودة) يستعرض فكرة المختبرات الافتراضيّة.

تهدف هذه المقابلة إلى استثمار خبرتكم العريقة لفهم تصوراتكم، وانطباعاتكم المبدئيّة حول هذه التقنيّة.

–مشاهدة الفيديو–

المحور الأول: الانطباعات الأوليّة وأسباب عدم التبني.

1. **التصور الأوليّ:** بناءً على ما شاهدتموه، والذي قدّم لمحة سريعة عن المختبرات الافتراضيّة، كيف تبلور انطباعكم الأوليّ حول هذه التقنيّة؟ وما هي التصـورات المبدئيّة التي تكونت لديكم بشـأن إمكاناتها أو تحدياتها في سـياق التعليم الهندسيّ؟

2. **الحواجز المؤسسيّة:** من وجهة نظرك، ما هي الحواجز الرئيسيّة التي تمنع تبني هذه التقنيات في سياقنا المحليّ؟ ولكي نكون أكثر تحديدًا، إلى أي مدى يُمثل غياب الدعم المؤسسيّ (سواء كان ماليًا أو استراتيجيًا) عائقًا أساسيًا في رأيك؟

3. **التحفظات التربويّة:** على المستوى الشخصيّ كأكاديمي، هل لديك تحفظات تربويّة أو بيداغوجيّة تجاه استبدال أو دعم المختبر الحقيقيّ بالافتراضيّ؟ وما هي الجوانب في المختبر الفيزيائيّ التي تعتقد أنه من الصعب على أي بيئة افتراضيّة محاكاتها؟

المحور الثاني: تقويم الفوائد والمخاطر المتصورة

1. **الفوائد المتصوّرة:** على الرغم من عدم استخدامك لها، ما هي الفوائد المحتملة التي قد تراها في هذه التقنيات لو طُبِّقَت بالشكل الصحيح؟

2. **المخاطر المُتصوّرة:** بالمقابل، ما هي أبرز المخاطر أو السلبيات التي تخشاها في حال تم الاعتماد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة في إعداد المهندسين والفنيين؟

3. **جودة المخرجات:** هل تعتقد أن الطالب الذي يعتمد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة سيكون بنفس كفاءة الطالب الذي قضى وقتًا أطول في المختبرات الحقيقيّة عند مواجهة سوق العمل؟ ولماذا؟ وهل ترى ضرورة لاستخدام المختبرات التقليديّة في إحدى مراحل تدريب الطلاب، بجانب المختبرات الافتراضيّة؛ وذلك لتدريبهم على الواقع الحقيقيّ وتأهيلهم للعمل في الميدان؟

المحور الثالث: استشراف المستقبل وتقديم التوصيات

1. **شروط التبني:** لو افترضنا أن المؤسسة قررت تبني هذه التقنيّة، ما هي الشروط أو المتطلبات التي ترى أنها أساسيّة لنجاح هذه التجربة في مساقاتك؟

2. **نصيحة لصناع القرار:** لو طلب منك تقديم نصيحة واحدة لرئيس قسم أكاديمي يدرس فكرة الاستثمار في هذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

3. **تغيُّر التصوّر:** بعد هذا النقاش، هل تغير تصورك الأوليّ الذي ذكرته في البداية عن المختبرات الافتراضيّة بأي شكل من الأشكال؟

4. **الرغبة المستقبلية:** بعد هذا النقاش المُفصّل واستعراضنا لمختلف الجوانب، هل تولدت لديكم الرغبة في التفكير جديًا بتجربة هذه المختبرات الافتراضيّة في مساقاتكم المُستقبليّة، شريطة توفر الظروف المناسبة؟

5. خاتمة: في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة جوهريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها تستحق الذكر؟

المسار الثالث: صنّاع القرار (الإداريون)

شــكرًا لحضــرتكم. بما أنكم في موقع إداري، اســمح لي أن أعرض عليك فيديو قصــير يســتعرض فكرة المختبرات الافتراضيّة.

تهدف هذه المقابلة إلى فهم رؤيتكم الاستراتيجيّة حول هذه التقنيات من منظور مؤسسي.

-مشاهدة الفيديو-

المحور الأول: السياق وبيئة التبني المؤسسي

1. **الدور الإداريّ:** بداية، هلا حدثتني عن دورك الإداريّ في المؤسســة، وخصــوصًــا علاقتك بعمليّة تطوير المناهج والمختبرات التقنيّة؟

2. **التصور الأوليّ:** بناءً على ما شاهدتموه، ما هو انطباعكم الأوليّ حول هذه التقنيّة من منظور استراتيجي؟

3. **المناخ المؤسسيّ:** كيف تصف المناخ العام داخل مؤسستكم تجاه تبني تقنيات تعليميّة جديدة ومبتكرة؟ هل هناك مناخ مشجع ومُبادر، أم حذِر ومتروٍ؟ وكيف يظهر ذلك على أرض الواقع؟

4. الأسباب الرئيسية لعدم التبني: من منظورك الإداريّ، ما هي العوائق الرئيسيّة (ماليّة، إداريّة، ثقافيّة) التي تمنع التبني الواسع لتقنيات مثل المختبرات الافتراضيّة في سياقنا التعليميّ؟

المحور الثاني: تقويم الفكرة من منظور إداري

1. **الفوائد الاستراتيجيّة:** ما هي الفوائد الاستراتيجيّة (مثل خفض التكاليف، زيادة أعداد الطلاب، تحسين السمعة الأكاديمية) التي قد تجنيها المؤسسة من تطبيق هذه التقنيات؟

2. **المخاطر المؤسسيّة:** بالمقابل، ما هي أبرز المخاطر أو السلبيات المؤسسيّة التي تخشاها في حال تم الاعتماد بشكل كبير على المختبرات الافتراضيّة؟

3. **جودة المخرجات وتنافسيّة الخريج:** هل تعتقد أن دمج هذه المختبرات الافتراضيّة سيرتقي بجودة الخريج بشكل يمثل قيمة مضافة حقيقة للمؤسسة في سوق العمل؟ وكيف تصف حجم هذا الأثر على تنافسيّة خريجيكم؟ (تحويلي كبير، متوسط، أم طفيف؟).

المحور الثالث: استشراف المستقبل واتخاذ القرار

1. **شروط اتخاذ القرار**: ما هي البيانات أو المتطلبات التي تحتاجها كصانع قرار قبل أن توصي بالاستثمار في مشروع لتبني المختبرات الافتراضيّة؟ (مثال: دراسة جدوى، تجربة رائدة ناجحة، توفر دعم فني).

2. **نصيحة لصناع القرار**: لو كنت تقدم نصيحة لعميد أو رئيس قسم في مؤسسة أخرى متردد في الاستثمار بهذه التقنيات، ماذا ستقول له؟

3. **التغير في التصور**: بعد هذا النقاش، هل تغير تصورك الأوليّ عن هذه التقنيات بأي شكل من الأشكال؟

4. **التوجه المستقبلي**: بناءً على كل ما ناقشناه من فوائد استراتيجيّة ومخاطر مؤسسيّة، هل ترون أن مؤسستكم ستتجه نحو دعم أو تبني مثل هذه التقنيات بشكل جدي في المستقبل القريب (خلال السنوات الثلاث القادمة مثلًا)؟

5. **نقطة جوهرية أخيرة**: في نهاية نقاشنا، هل هناك أي نقطة استراتيجيّة أو إداريّة لم نتطرق إليها، وتعتقد أنها حاسمة في هذا الموضوع؟

وفي الختام، أود أن أعبر عن عميق امتناني وشكري لكي على وقتكم الثمين، وعلى هذه الرؤى والأفكار المُعمقة التي أَثْرَتِ في الدراسة. وأؤكد لكم مجددًا التزامي التام بسريّة البيانات، واستخدامها لأغراض البحث العلمي فقط. كما يسعدني تزويدكم بملخص لأبرز النتائج عند اكتمال الدراسة، في حال رغبتكم بذلك.

أكرر شكري وتقديري لشخصكم الكريم.

ملحق (ر) تحليل لبعض آراء الأكاديميين المُستخدمين

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
1.0	**دوافع التبني والسياق**			يكشـــف هذا المحور أن تبني التقنيّة لم يكن في معظمه قرارًا اسـتراتيجيًا "من أعلى إلى أسـفل"، بل كان اسـتجابة لحاجات عمليّة أو أزمات طارئة.
1.1	دافع شخصيّ / حاجة عمليّة	8	"الرحلة بدأت بشكل أساسيّ من الحاجة العمليّة في مسـاق 'الأتمتة الصـناعية' الذي أُدرسـه. لم يكن توجهًا مؤسسيًا بقدر ما كان حلًا للمشكلات التي نواجهها على أرض الواقع." (ب. ز.)	يوضـح الاقتباس أن الدافع الرئيسـيّ كان "من أسـفل إلى أعلى"؛ إذ انّطلق التبني من مبادرة فرديّة لحل مشـــكلة تعليميّة قـائمـة (مثـل أعـداد الطلاب الكبيرة)، وليس من خطة مؤسسيّة.
1.2	استجابة للأزمات (كورونا)	4	"الانطلاقة الحقيقيّة كانت مع جائحة كورونا وما تبعها من إغلاقات... حيث أصـبح الوصـول إلى المختبرات التقليديّة مستحيلًا." (ح. أ. ع.)	يكشـف الاقتباس عن دور الأزمات كـــ"عامل مسـرّع " (Catalyst)؛ حيث حولت جائحة كورونا هذه التقنية من أداة "مستحبة" إلى "ضرورة مؤسسيّة عاجلة."
2.0	**القيمة التربويّة والمزايا**			هذا المحور هو الأعلى تكرارًا بـالإجمـاع، ويجمع الفوائد التعليميّة الملموســـة التي لاحظها المســـتخدمون على طلابهم، مما يمثل جوهر نجاح التجربة.
2.0	تعميق الفهم والتصور البصريّ	13	"هذا الربط المباشر بين الكود الذي يكتبه والحركة الميكانيكيّة التي يراها أمامه يعمق فهمه بشكل كبير." (ب. ز.)	هذا هو الأثر الأكثر إجمـاعًا (ذكره كل المشـــاركين). يصـف الاقتباس بدقة الآلية التربويّة للنجاح: سـد الفجوة بين المفهوم المجرد (الكود) والتطبيق المرئيّ (الحركة).

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
2.2	التفكير المنظوميّ (System Thinking)	12	"الفارق الأســـاســـيّ هو الانتقال من التفكير الجزئيّ إلى التفكير المنظومي (System Thinking). (ح. أ. ع.)"	يوضـح الاقتباس أن القيمة تتجاوز فهم المكونات الفرديّة لتصـــل إلى بناء مهارة ذهنيّة عليا، وهي القدرة على تصميم وفهم الأنظمة المتكاملة.
2.3	بيئة آمنة للتجريب والإبداع	10	"القدرة على التجريب والابتكار في بيئة آمنة؛ حيث يمكنه اختبار ســـيناريوهات متعددة لحل مشـــكلة معينة دون خوف من إتلاف معدات باهظة الثمن." (ع. ق.)	يكشـــف الاقتباس عن فائدة جوهريّة: إزالة "الخوف من الخطأ"، مما يحرر الطالب للتجريب والابتكار وحل المشكلات بطرق غير تقليديّة.
3.0	**التحديات والعوائق**			يجمع هـذا المحور العقبـات العمليّـة التي واجههـا المسـتخدمون أثناء التطبيق، والتي تركزت بشـكل كبير على الجوانب التقنيّة والمؤسسيّة.
3.1.2	متطلبات الأجهزة (Hardware Specifications)	8	(تجربة محبطة) "فشل جزء كبير منهم في إنجازه ليس لضـــعف في فهمهم، بل لأنهم لا يمتلكون أجهزة حاسوب شخصيّة بالمواصفات المطلوبة." (ص. ت.)	يجسـد هذا الاقتباس تحديًا واقعيًا ومحبطًا؛ إذ إنّ الفجوة في إمكانيات الأجهزة لدى الطلاب شـكلت عائقًا مباشـرًا أمام تحقيق الأهداف التعليميّة.
3.1.1	تكلفة التراخيص والبرامج	7	"الســـبب الأول هو التكلفة العاليّة لتراخيص البرامج الكاملة، وهو ما يدفع الطلبة للتحايل باستخدام النسخ التجريبيّة." (ب. ز.)	يوضـــح الاقتباس أن حاجز التكلفة ليس مجرد عائق مؤسسيّ، بل له أثر مباشر على سلوك الطلاب ويجبرهم على البحث عن حلول غير مثاليّة.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
3.3.1	ضعف الدعم الماليّ والإداريّ	6	"بدون تردد، التحدي المؤسسيّ والإداريّ هو 'عنق الزجاجة'. إذا لم تتخذ إدارة الجامعة قرارًا استراتيجيًّا بالاستثمار في هذه التقنية... سيبقى الوضع على ما هو عليه." (ن. هـ.)	هذا الاقتباس حاسم في تحديده لـ "عنق الزجاجة" الحقيقيّ؛ حيث إنّ غياب القرار الاستراتيجي والدعم الملموس من الإدارة العليا هو ما يَعُوقُ التوسع والنجاح المستدام.
4.0	**الفجوة الحسيّة والمهارات المفقودة**			يمثل هذا المحور الإجماع المطلق بين المستخدمين على حدود التقنيّة، وتحديد المهارات التي لا يمكن اكتسابها إلا من خلال المختبر الفيزيائيّ.
4.2	مهارة تشخيص الأعطال الماديّة (Hardware Troubleshooting)	13	"المهارة الوحيدة التي سأبقى قلقًا بشأنها هي مهارة التشخيص واستكشاف الأخطاء الفيزيائيّة وإصلاحها".(Physical Troubleshooting) (خ. ع.)	هذا هو النقص الأكثر إجماعًا (ذكره كل المشاركين). الاقتباس يعبر عن القلق المشترك بأن الطالب، رغم تفوقه المنطقي، سيظل ضعيفًا في المهارة العمليّة الأولى المطلوبة في الميدان.
4.1	غياب التجربة الفيزيائيّة	11	"هي تنجح بشكل ممتاز في محاكاة المنطق والعمليات، لكنها تفشل في نقل الإحساس الفيزيائيّ." (خ. ع.)	يلخص الاقتباس بدقة حدود التقنيّة: هي تنجح في محاكاة "المنطق(Logic) "، لكنها تفشل حتمًا في نقل "الإحساس.(Sensation) "
5.0	**التأثير على جودة المخرجات**			يجمع هذا المحور التقويم النهائيّ للمستخدمين حول أثر التقنيّة على جودة الخريج، والذي كان إيجابيًا بشكل ساحق بشرط الدمج الصحيح.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
5.1	ارتقاء حقيقيّ وملموس (تقويم إيجابيّ)	12	"بالتأكيد، هو ارتقاء حقيقيّ وملموس بجودة الخريج. هو ليس مجرد أداة مساعدة، بل هو جسر ينقل الطالب من عقليّة المبرمج إلى عقليّة مهندس النظم." (م. أ. ع.)	يقدم الاقتباس تقويمًا إيجابيًا قاطعًا، ويوضح أن الأثر ليس هامشيًا، بل هو "ارتقاء" نوعيّ يغير من "عقلية" الطالب ويجعله أقرب لمتطلبات سوق العمل.
5.3	زيادة الجاهزيّة لسوق العمل	9	"هذا الخريج يكون أقرب إلى متطلبات سوق العمل الحديث والثورة الصناعيّة الرابعة." (م. أ. ع.)	يربط الاقتباس بشكل مباشر بين استخدام هذه الأدوات وبين زيادة مواءمة الخريج مع متطلبات الصناعة الحديثة، مما يعزز من قيمته التنافسيّة.
6.0	**فلسفة الاستخدام والتوصيات**			يمثل هذا المحور الحكمة المستخلصة من التجربة، ويقدم خلاصة فكر المستخدمين حول الطريقة المثلى لاستخدام هذه التقنيات وتوصياتهم للمستقبل.
6.1	الدمج والتكامل (أداة مكملة)	13	"أنا لا أؤيد الإحلال الكامل، بل الدمج الذكيّ... الافتراضيّ لبناء الفهم الشموليّ والمنطقيّ، والمختبر التقليديّ لبناء الحس الهندسيّ." (ر. ع.)	هذا الاقتباس هو خلاصة الفلسفة التي أجمع عليها كل المستخدمين. إنه لا يكتفي بالدعوة للدمج، بل يحدد ببراعة الدور التربويّ لكل بيئة، مما يجعله نموذج "أفضل ما في العالمين."
6.2	رفض الاستبدال الكامل (خطر الخريج النظريّ)	11	"نعم، وبدون شك. هذا هو الخطر الأكبر. الاعتماد الكامل يخلق خريجًا مثاليًا لبيئة مثاليّة. الواقع الصناعيّ ليس مثاليًا." (م. دو)	يعبر الاقتباس بقوة عن التحذير من الاعتماد الكليّ، ويوضح أن المشكلة تكمن في أن "مثالية" البيئة الافتراضيّة لا تؤهل الطالب لـ"فوضى" الواقع الصناعيّ.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
6.3	توصيات للمؤسسات والأكاديميين	10	"سـأقول له: 'هذا الاسـتثمار ليس رفاهيّة تقنيّة، بل هو ضـــرورة لســـد الفجوة بين التعليم الأكاديمي ومتطلبات الصناعة الحديثة." (ع. ق.)	يمثل هذا الاقتباس "الرسـالة الموجهة للإدارة"؛ حيث يعيد تـأطير التقنيّـة من كونهـا "تكلفـة إضـــافيّـة" إلى كونهـا "استثمارًا ضروريًا" للمستقبل.

ملحق (ز) تحليل لبعض آراء الأكاديميين من غير المُستخدمين

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
1.0	**التصورات الأولية والانطباعات**	48		يجمع هذا المحور الانطباعات الفورية للخبراء، التي انقسمت بشكل واضح بين التفاؤل بالإمكانات والمخاوف من التحديات العملية.
1.1	الإمكانات المتصورة	28	"انطباعي الأوليّ إيجابيّ للغاية. فالمُختبر الافتراضيّ لتعليم الـــ PLC يُمثل أداة بصرية قوية جدًا قادرة على سد فجوة كبيرة يعاني منها الطلاب، وهي فجوة 'التصور'." (أ. م.)	الاقتباس يوضح الإمكانية الجوهرية للتقنية في حل مشكلة تربوية محددة (فجوة التصور)، مما يبرز قيمتها التعليميّة الفوريّة.
1.2	التحديات المتصورة	20	"مباشرةً، قفزت إلى ذهني التحديات العمليّة التي نواجهها. أولًا، التكلفة العاليّة لتراخيص مثل هذه البرمجيات المتقدمة. ثانيًا، الحاجة الماسة لأجهزة حاسوب ذات مواصفات عاليّة لتشغيلها بكفاءة." (ع. م.)	يلخص الاقتباس بدقة التحديين العمليين الأكثر شيوعًا اللذين ذكرهما الخبراء: العبء الماليّ والمتطلبات التقنيّة العاليّة للأجهزة.
2.0	**حواجز عدم التبني**	41		يركز هذا المحور على الأسباب الهيكليّة والعميقة التي تمنع المؤسسات حاليًا من تبني هذه التقنيات على نطاق واسع.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
2.1	حواجز مؤسسيّة وماليّة	25	"من وجهة نظري، السبب الرئيسي هو حاجز مؤسسي وهيكلي بحت. معظم هذه المساقات... تبدأ كمساقات اختيارية. من غير المنطقي إداريًّا وماليًّا أن يستثمر القسم مبالغ كبيرة في برمجيات لمادة قد لا يسجل بها عدد كاف من الطلاب." (ب. م.)	يقدم الاقتباس تحليلًا عميقًا يربط الحاجز الماليّ بالهيكل الإداريّ والأكاديمي، موضحًا أن المشكلة ليست مجرد "تكلفة" بل "جدوى استثمار" في ظل الأنظمة الحاليّة.
2.2	حواجز تربويّة وبشريّة	16	"هناك قناعة لدى الكثيرين، وأنا أميل لها، بأن هذه الأدوات لا يمكن أن تكون بديلًا حقيقيًّا عن المختبر الفيزيائي، وبالتالي يُنظر إليها على أنها كماليات وليست ضرورات." (م. ش.)	يكشف الاقتباس عن حاجز ثقافيّ وفلسفيّ راسخ لدى الأكاديميين؛ حيث إنّ القناعة بعدم قدرة التقنيّة على أن تكون بديلًا يقلل من أولويتها الاستثماريّة.
3.0	**قيمة المختبر التقليدي الذي لا يعوض**	35		يجمع هذا المحور إجماع الخبراء على وجود مهارات وخبرات أساسيّة في المختبر الفيزيائي لا يمكن للمحاكاة الرقمية نقلها أو تعويضها.
3.1	المهارات الحسيّة والفيزيائيّة	21	"نعم، لدي تحفظ تربوي جوهري... هناك 'حس هندسيّ' لا يمكن للمحاكاة أن تنقله، مثل الإحساس بمقاومة برغي عند ربطه، أو تشخيص مشكلة من صوت غير طبيعي لمحرك." (ي. ع.)	هذا الاقتباس هو المثال النموذجي الذي يحدد بدقة المهارات الحسيّة (اللمس، السمع) التي تُبنى حصريًا من خلال التجربة الفيزيائيّة الملموسة.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
3.2	التعامل مع "الفوضى الواقعيّة"	14	"المختبر الفيزيائيّ يعلِّم الطالب التعامل مع ما هو غير متوقع: عطل في حساس لا يمكن للمحاكاة توقعه، مشكلة في التوصيلات الكهربائيّة، ضوضاء كهرومغناطيسيّة..." (ع. م.)	يقدم الاقتباس أمثلة محددة للمشاكل "غير المثاليّة" والفوضويّة التي تحدث في الواقع، والتي تعتبر بيئة المحاكاة "نظيفة جدًا" لتحاكيها بفعاليّة.
4.0	**المخاطر المتصورة من الاعتماد المفرط**	29		يعكس هذا المحور المخاوف العميقة من النتائج السلبيّة إذا استُخدِمت المختبرات الافتراضيّة كبديل كامل، وليس كأداة مكملة.
4.1	تخريج "مهندس نظري/افتراضيّ"	18	"الخطر الأكبر هو تخريج مهندس 'افتراضيّ'، شخص ممتاز في التعامل مع الشاشات والبرمجيات، لكنه يقف عاجزًا أمام مشكلة حقيقيّة على أرض المصنع." (أ. م.)	يقدم هذا الاقتباس تعريفًا دقيقًا ومباشرًا للمصطلح الذي يجسد الخوف الأكبر لدى الخبراء، وهو خلق فجوة بين المهارات الرقميّة والواقع الميدانيّ.
4.2	تآكل المهارات العمليّة الأساسيّة	11	"أخشى من إضعاف قدرتهم على التعامل مع المشاكل غير المتوقعة وغير المبرمجة، ومن فقدان المهارات العمليّة الأساسيّة التي لا غنى عنها لأي مهندس ناجح في الميدان." (أ. م.)	يحدد الاقتباس بوضوح طبيعة المهارات المهددة بالتآكل، وهي مهارات حل المشكلات العمليّة والتعامل مع ما هو غير مبرمج.
5.0	**تقويم جودة المخرجات**	38		يجمع هذا المحور آراء الخبراء حول تأثير هذه التقنيات على كفاءة وجودة الخريجين.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
5.1	المقارنة بين خريج الافتراضيّ والتقليديّ	15	"لا، لن يكونا بنفس الكفاءة، بل لكل منهما نقاط قوة وضعف. طالب المختبر الحقيقي قد يكون أسرع في التركيب والتوصيل العملي، بينما طالب المختبر الافتراضيّ سيكون أقوى بكثير في فهم وتصميم الأنظمة المتكاملة." (ب. ع. ح.)	يقدم الاقتباس رؤية متوازنة؛ حيث لا يفضل طرفًا على الآخر بشكل مطلق، بل يحدد نقاط القوة لكل نهج، مما يمهد منطقيًا لفكرة الدمج.
5.2	الدمج المدروس وتقويم الأثر	23	"إذا تم هذا الدمج بشكل صحيح، أصف الأثر بأنه 'تحويلي كبير' لأنه يغير طريقة تفكير الطالب من مجرد تنفيذ تجربة إلى تصميم نظام متكامل وحل مشاكله." (ب. ع. ح.)	هذا الاقتباس لا يكتفي بوصف الأثر الإيجابيّ، بل يفسر عمقه؛ حيث يربط الدمج بتغيير نوعيّ في "طريقة التفكير" لدى الطالب، وهو أعلى مستويات التأثير التربويّ.
6.0	**شروط التبني وفلسفة الاستخدام**	45		هذا هو المحور الأعلى تكرارًا، ويجمع الشروط الأساسيّة والفلسفة التي يراها الخبراء ضروريّة لنجاح أي مبادرة تبني.
6.1	كأداة مكملة وليست بديلة	22	"تحفظي ليس على استخدامها كأداة مساندة، بل على فكرة أنها يمكن أن تكون بديلًا... أنا أؤمن بأن هذه الأدوات يجب أن تكون داعمة ومكملة للمختبر الحقيقيّ، وليست بديلًا كاملًا عنه." (ب. أ. ج.)	يوضح الاقتباس بشكل حاسم الفلسفة التي أجمع عليها الخبراء تقريبًا: العلاقة بين المختبرين يجب أن تكون علاقة "تكامل" وليست "إحلال."
6.2	الحاجة لدعم وتدريب الكادر	14	"يجب أن نتدرب نحن أولًا على كيفية استخدامها بيداغوجيًا... النجاح لا يكمن في شرائها، بل في الاستثمار في الكادر البشريّ." (ب. أ. ج.)	يربط الاقتباس بشكل مباشر بين نجاح التقنيّة والاستثمار في تدريب الكادر، ويقدمه كشرط أساسيّ ومسبق لأي نجاح محتمل.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
6.3	ضـــرورة تطوير المحتوى المحليّ	9	"نعم، نقطة أخيرة ومهمة جدًا. التحدي الأكبر الذي أراه هو غياب المحتوى والســيناريوهات باللغة العربيّة والتي تحاكي واقعنا المحلي... أعتقد أن أي مبادرة ناجحة يجب أن تتضمن جهودًا لإنشاء منصة تعاونيّة." (د. س.)	يحدد الاقتباس مشــكلة جوهرية تتعلق بملاءمة المحتوى للســياق المحليّ، ويقترح حلًا عمليًا (منصــة تعاونية)، مما يبرز أهمية هذا الشرط لنجاح التجربة.
7.0	**الحلول والتوصيات العمليّة**	25	"لا تنظر إليها كتكلفة، بل كاستثمار في مستقبل طلابنا. ابدأ بمشروع تجريبي صغير، وقس الأثر بنفسك." (أ. م.)	يقدم الاقتباس حلًا عمليًا ومباشرًا (مشروع تجريبي) لمشكلة التردد في الاستثمار، ويغير إطار التفكير من "تكلفة" إلى "استثمار."
8.0	**الــدافعيّــة والتعلم الــذاتي للطالب**	15	"بيئات التعلُّم الافتراضـــيّة هذه يمكنها أن تحول مادة دراسـيّة جافة إلى تجربة تفاعليّة وممتعة. هذا التأثير على دافعية الطلاب للتعلم الذاتي والتجريب لا يقل أهمية عن المهارات التقنيّة التي يكتسبونها." (ع. ق. س.)	يوضـــح الاقتباس فائدة تربويّة عميقة؛ حيث يربط التقنيّة بشـــكل مباشـــر بتحفيز "الدافعيّة" و"التعلم الذاتي"، وهي من أهم أهداف العمليّة التعليميّة.
9.0	**الرؤية الاستشرافيّة: جسر نحو المستقبل**	19	"هذا الاســـتثمار ليس مجرد شـــراء برمجيات، بل هو اســـتثمار في مدى ملاءمة (Relevancy) خريجينا للمســتقبل. الصــناعة الحديثة تعتمد على المحاكاة والتوأم الرقمي، وإذا لم نُعرّض طلابنــا لهــذه الأدوات اليوم، فسيكونون متأخرين في سوق العمل غدًا." (ر. ش.)	هذا الاقتباس هو الأكثر اســـتراتيجية؛ حيث يربط تبني التقنية بـــ"الملاءمة للمستقبل" ويذكر تقنيات صناعيّة متقدمة، مؤكدًا على الدور الاستشرافيّ لهذه الأدوات.

ملحق (س) تحليل لبعض آراء الإداريين

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
1.0	**المنظور الاستراتيجيّ والجدوى**			يظهر هذا المحور أن الإداريين يفكرون على مستوى استراتيجيّ؛ حيث يرون التقنيّة كفرصة أو عبء، لكنهم يتفقون على أن التحدي الحقيقيّ ليس تقنيًا بل إداريًّا.
1.3	التحدي الأكبر هو إدارة التغيير	6	"أما التحدي الأكبر من وجهة نظري فهو ليس تقنيًّا، بل هو تحدي 'إدارة التغيير'." (م. ع.)	هذا هو التحدي الأكثر بروزًا. الاقتباس يوضح أن الإداريين يرون أن العقبة الحقيقية تكمن في إدارة الجانب البشريّ والمؤسسيّ للتغيير (التدريب، الثقافة، مقاومة التغيير)، وليس في شراء التقنيّة نفسها.
1.1	التقنيّة كفرصة استراتيجيّة	3	انطباعي الأوليّ هو أن هذه ليست مجرد 'أداة تعليميّة' جديدة، بل هي 'منصة استراتيجيّة'." (أ. ف.)	يكشف الاقتباس عن رؤية trasncendental تتجاوز الفصول الدراسيّة. الإداريون لا يفكرون في "أداة"، بل في "منصة" يمكنها تعزيز العلامة التجاريّة للجامعة وجذب الطلاب والمواهب.
2.0	**بيئة التبني المؤسسيّ**			يحلل هذا المحور البيئة الداخلية للمؤسسة، ويكشف عن وجود فجوة كبيرة بين الدعم المعلن (الشفهي) والدعم الفعليّ (الميزانيات والقرارات الاستراتيجيّة).
2.4.1	غياب الرؤيّة طويلة الأمد	5	"لا توجد رؤية استراتيجيّة واضحة من الإدارة العليا..." (ع. ا. ر.)	يحدد هذا الاقتباس بدقة جذر المشكلة في المؤسسات المترددة: غياب قرار استراتيجي واضح من القيادة العليا، مما يجعل أي مبادرة فرديّة معزولة وغير مستدامة.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
2.4.3	الجمود البيروقراطيّ وثقافة تفادي المخاطرة	4	"السبب الأول هو 'الجمود البيروقراطيّ'... السبب الثاني هو 'ثقافة تفادي المخاطرة'." (ع. ا. ب.)	يشخص الاقتباس حاجزين مؤسسيين عميقين: الإجراءات البيروقراطيّة الطويلة التي تقتل الحماس، والثقافة المؤسسيّة التي تعاقب على الفشل وتتجنب المخاطرة، مما يَعُوقُ أي محاولة للابتكار.
2.3	دعم شفهيّ وغير فعال	3	"يمكن وصف الوضع بأنه 'تشجيع بدون تمكين'. (ع. م.)	تلخص هذه العبارة البليغة حالة الإحباط في المؤسسات غير الداعمة؛ حيث يوجد تشجيع بالكلام، ولكنه لا يُترجم إلى موارد ماليّة أو قرارات إداريّة (تمكين)، مما يجعل المبادرات تموت.
3.0	**تقويم العائد على الاستثمار (ROI)**			هذا هو المحور الأكثر أهمية من منظور إداريّ؛ إذ تُقَوَّمُ الفوائد والمخاطر من زاوية استثماريّة بحتة.
3.1	الفوائد الاستراتيجيّة (تعزيز العلامة التجاريّة والجاذبيّة)	7	"تتمثل هذه الفوائد بتعزيز العلامة التجاريّة للجامعة وجعلها أكثر جاذبيّة لأفضل المواهب..." م. ش.	هذا هو العائد على الاستثمار الأعلى تكرارًا والأكثر إقناعًا للإدارة. الاقتباس يوضح أن القيمة الكبرى ليست في توفير التكاليف، بل في بناء السمعة والميزة التنافسيّة لجذب الطلاب.
3.2.1	استنزاف الموارد وسوء التنفيذ	6	"الخطر الأكبر ليس في التقنيّة نفسها، بل في سوء التنفيذ." (ع. ح. خ.)	يكشف الاقتباس عن نضج إداريّ في تقدير المخاطر. الخوف ليس من فشل التكنولوجيا، بل من فشل إدارة المشروع (سوء التنفيذ) الذي يؤدي إلى هدر الموارد دون تحقيق نتائج.
3.3.1	أثر تحويليّ (Transformational)	5	"بالتأكيد 'تحويليّ'... يبني عقليّة مختلفة تمامًا لدى الخريج." (و. ك.)	يمثل هذا الاقتباس التقويم الأكثر تفاؤلًا للأثر المحتمل؛ حيث يرى الإداريون الداعمون أن التقنيّة، إذا تُبُنِّيَت بشكل صحيح، يمكن أن تحدث تغييرًا جذريًا ونوعيًا في هوية الخريج وقدراته.

رقم الترميز	الترميز الرئيسيّ (Main Code) والفرعيّ (Sub-Code)	التكرار (Frequency)	اقتباسات دالة وممثلة (Representative Quotations)	التحليل والتوضيح (Analysis & Explanation)
4.0	**شـــروط اتـخـاذ الـقـرار الاستثماريّ**			يحدد هذا المحور المتطلبات العمليّة التي يحتاجها المدير لاتخاذ قرار "نعم" للاستثمار. إنه يوضح "خارطة الطريق" لإقناع الإدارة.
4.2.1	بناء حجة عمل (Business Case) لإقناع الإدارة	4	..."أحتاج إلى 'قضـية (Business Case) 'قوية..." (م. ح.)	يسـتخدم الاقتباس لغة الإدارة بوضـوح. للانتقال من فكرة إلى مشروع، يجب على الأكاديميين تقديم "حجة عمل" متكاملة توضح التكاليف، والفوائد، والمخاطر، والعائد المتوقع.
4.1	الاعتمـاد على البيـانـات والمشـاريع الرياديّة (Pilot Projects)	3	..."ما يقنعني... هو البيانات والنتائج الملموسة من... مشروع رياديّ." (خ. أ.)	يوضـح الاقتباس أن القرارات الكبيرة لا تُتخذ بناءً على النوايا الحسـنة، بل بناءً على "البيانات" الناتجة عن "مشـروع تجريبي" ناجح. هذه هي آلية الإدارة لتقليل المخاطر قبل التوسع.
5.0	**الفلسـفة الإداريّة والنصـيحة النهائيّة**			يقدم هذا المحور خلاصة الحكمة الإداريّة والنصائح الاستراتيجية لضمان نجاح التبني على المدى الطويل.
5.4	دور رواد التغيير	3	..."النقطة الجوهريّة هي أهميّة وجود رواد للتغيير"... (م. د.)	يكشف الاقتباس عن إدراك عميق بأن التكنولوجيا لا تطبق نفسها. النجاح يعتمد على وجود أفراد متحمسين وممكنين داخل المؤسسة ("رواد") يقودون المبادرة ويتغلبون على العقبات.
5.2	الاحتيـاجـات التعليميّـة تقود التكنولوجيا (وليس العكس)	2	"لا تقعوا في حب التكنولوجيا، بل في حب النتائج التي تحققها." (م. ح.)	تقدم هذه النصـيحة الحكيمة مبدًا توجيهيًّا هامًا: يجب أن يكون الهدف هو حل مشـكلة تعليميّة حقيقيّة، وليس تطبيق أحدث التقنيات للمباهاة. يجب أن تكون البيداغوجيا هي القائد، والتكنولوجيا هي الأداة.

ملحق (ش): موثوقيّة الأداة النوعيّة – أدلة تحقيق "المصداقية (Credibility Evidence)"

لتحقيق معيار **المصداقية (Credibility)** وفق نموذج(Guba & Lincoln, 1985)، والذي يوازي "الصدق الداخلي – Internal Validity" في البحث الكمي، ويهدف إلى التأكد من أن نتائج الدراسة تعكس بدقة واقع وآراء المشاركين(Kakar et al., 2023, pp. 154–155, 161–164). اتبعت الباحثة استراتيجيتين رئيسيتين وُثِّقَتَا في هذا الملحق:

1. **التحقق من قبل المشاركين (Member Checking):** لضمان دقة تفسير الباحثة لآراء الخبراء، كما في الجدول (1–ش).
2. **تثليث البيانات (Data Triangulation):** للتأكد من تقارب النتائج وتوافقها عبر الأدوات المختلفة، كما في الجدول (2–ش).

الجدول (1–ش): *سجل توثيق إجراء "التحقق من قبل المشاركين (Member Checking Log)"*

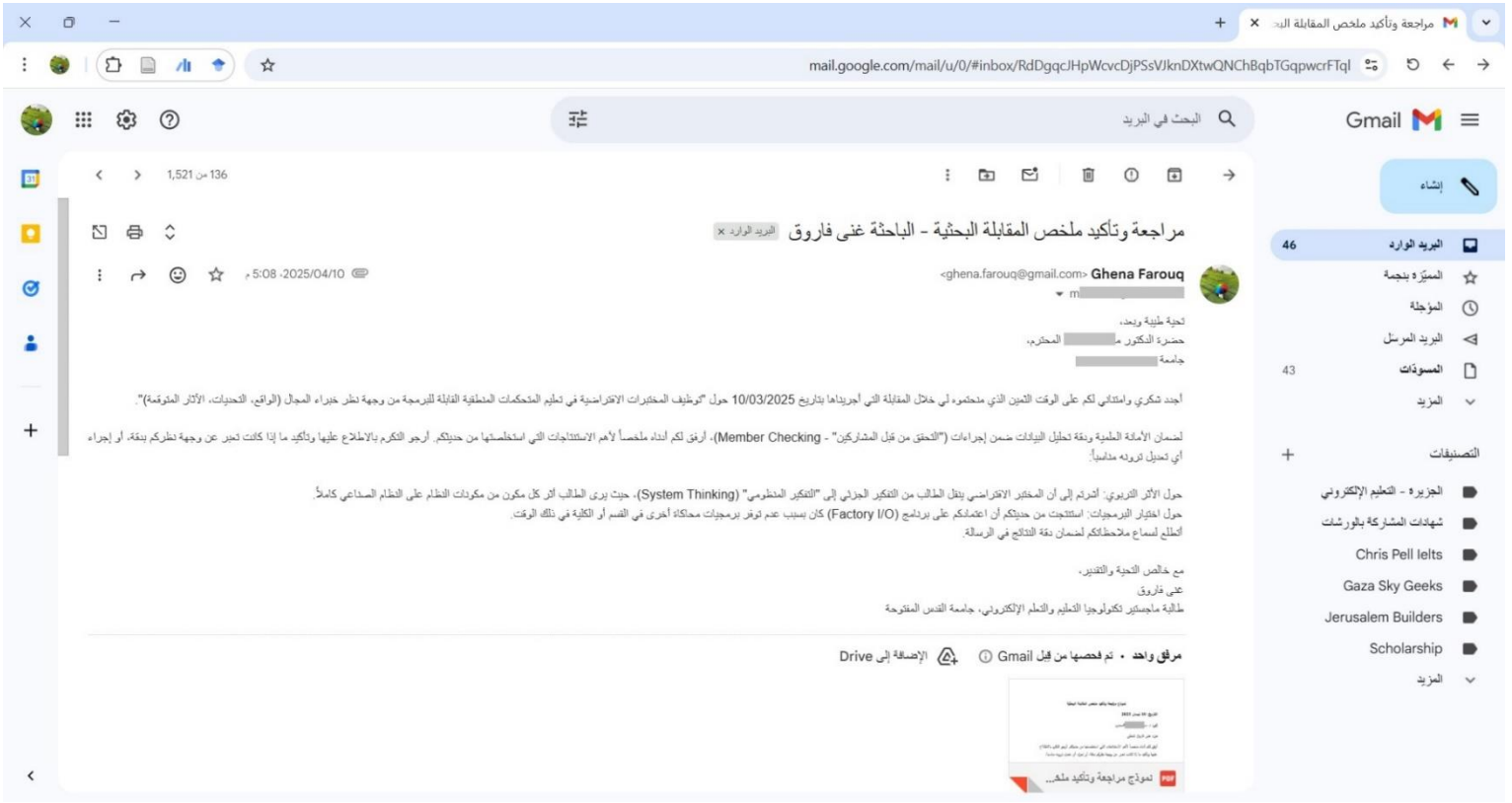
رمز الخبير	تاريخ الإجراء	الآلية المستخدمة	ملخص الملاحظات / التعديلات من الخبير	نتيجة التحقق
(م. ي)	10/04/2025	إرسال ملخص للمقابلة عبر البريد الإلكتروني.	**الملاحظة:** أكد الخبير صحة التفسير المتعلق بـ "التفكير المنظومي"، لكنه طلب توضيح أن استخدام (Factory I/O) جاء لسهولته وليس لعدم توفر برامج أخرى.	**تم التعديل:** عدلت الباحثة وصف السياق في النتائج ليعكس هذا التوضيح بدقة.
(م. خ)	13/05/2025	اتصال هاتفي لمناقشة الاستنتاجات الإدارية.	**الملاحظة:** وافق بشدة على مصطلح "تشجيع بلا تمكين"، وأضاف أن العائق المالي مرتبط بـ "أولويات الميزانية" وليس انعدامها.	**تم التأكيد:** اعتُمِد التفسير كما هو مع إضافة البعد المتعلق بالأولويات.
(ع. ش)	19/05/2025	لقاء وجاهي قصير لمراجعة النتائج.	**الملاحظة:** لا توجد تعديلات جوهرية، الخبير أقر بأن النتائج تمثله تمامًا.	**تم التأكيد:** النتائج معتمدة.

نماذج مصورة من أدلة التحقق (Samples of Member Checking Evidence)

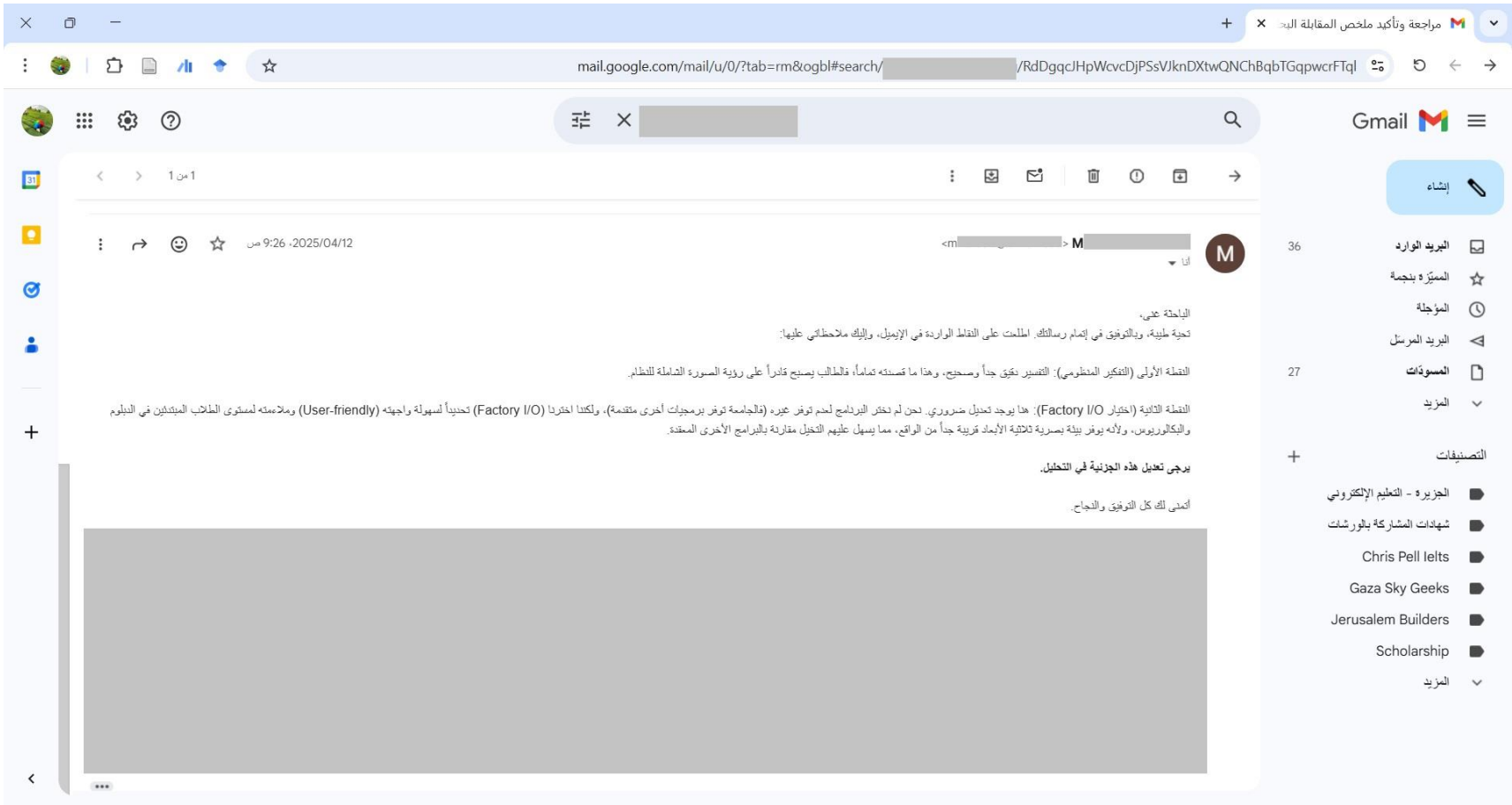
تورد الباحثة فيما يلي نماذج حقيقية (لقطات شاشة، مسح ضوئي) تثبت إجراءات التحقق الواردة في الجدول أعلاه:

- **نموذج التحقق عبر البريد الإلكتروني (مع الخبير م. ي):**

توضح الصورتان التاليتان (أ، ب) لقطات الشاشة للمراسلة الإلكترونية التي تضمنت إرسال الملخص من الباحثة، ورد الخبير عليه بالتعديل المطلوب.



(أ)

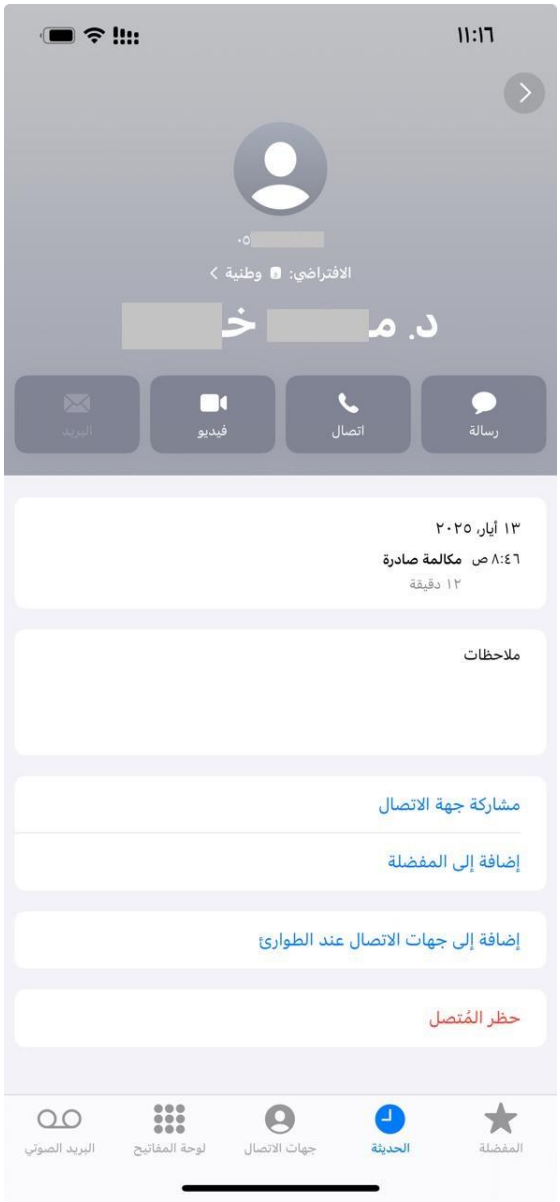


(ب)

الشكل (1–ش): توثيق المراسلة الإلكترونية للتحقق مع الخبير (م. ي) – الرسالة والرد.

نموذج التحقق عبر الاتصال الهاتفي (مع الخبير الإداري م. خ):

توضح الصورة التالية لقطة شاشة (Screenshot) من سجل الهاتف الخاص بالباحثة، توثق إجراء المكالمة التي نوقشت خلالها الاستنتاجات الإدارية، مبينًا فيها رمز الخبير، وتاريخ ووقت المكالمة، ومدتها التي استغرقت لمناقشة التفاصيل.



الشكل (2–ش): توثيق سجل الاتصال الهاتفي للتحقق مع الخبير (م. خ).

نموذج تحقق وجاهي ورقي (مع الخبير ع. ش):

توضح الصورتان التاليتان (أ، ب) المسح الضوئي لصفحتي النموذج الورقي الذي روجِعَ ووُقِّعَ من قبل الخبير خلال لقاء وجاهي.

نموذج التحقق من دقة البيانات – (Member Checking)

الموضوع: التحقق من دقة ملخص المقابلة البحثية

إلى الخبير: أ. ع ش المُحترم

التاريخ: 19 أيار 2025

تحية طيبة وبعد،

أكرر شكري وامتناني لكم على الوقت الثمين الذي خصصتموه للمقابلة التي أجريناها مؤخراً، والتي أثرت محتوى دراستي بعنوان: "توظيف المختبرات الافتراضية في تعليم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة من وجهة نظر خبراء المجال (الواقع، التحديات، الآثار المتوقعة)".

حرصاً مني كباحثة على الأمانة العلمية، ولضمان أن تحليلي للمعلومات يتطابق تماماً مع وجهة نظركم (تطبيقاً لمعيار المصداقية البحثية)، أرجو التكرم بالاطلاع على الملخص أدناه الذي استنتجته من حديثكم، وتأكيد ما إذا كانت تعبر بدقة عن وجهة نظركم، أو إضافة أي تعديلات ترونها مناسبة.

أبرز الأفكار المستخلصة من مقابلتكم:

1. **الفجوة الحسّيّة:** أكدتم أن المحاكاة ممتازة في تعليم "المنطق (Logic)"، لكنها تظل قاصرة في بناء "الحس الهندسي والمهني" لدى الطالب (مثل: تمييز صوت المحرك، الإحساس بمقاومة الأسلاك).
2. **التحدي المؤسسي:** أشرتم أن العقبة الرئيسية ليست مالية بحتة، بل تكمن في الحاجة لتوجيه الكادر التعليمي وتحفيزه لدمج هذه التقنيات بفعالية في المحتوى الدراسي.
3. **التوصية التقنية:** نصحتم بالبدء ببرنامج (Factory I/O) لطلاب البكالوريوس نظرًا لسهولته وواقعيته البصرية، وتأجيل البرامج المعقدة مثل (Automation Studio) لمراحل الدراسات العليا أو البحث المتقدم.

(أ)

ملاحظاتكم أو تعديلاتكم (إن وجدت):

الملخص يغطي النقاط التي تطرقت إليها في المقابلة

ولا يوجد تعديلات جوهرية.

.....

الإقرار:

[✓] أوافق على أن هذا الملخص يعكس وجهة نظري بدقة.

[✓] أوافق مع التعديلات المذكورة أعلاه.

الباحثة: غنى فاروق شنطي

طالبة ماجستير – جامعة القدس المفتوحة

توقيع الخبير:

.....

(ب)

الشكل (3–ش): نسخة ضوئية من نموذج التحقق الموقع من الخبير (ع. ش)، الصفحتان الأولى والثانية.

الجدول (2–ش): *مصفوفة تثليث البيانات الكمية والنوعيّة (Triangulation Matrix)*

يوضح هذا الجدول تقاطع البيانات الكمية والنوعيّة لتعزيز المصداقية

المحور/المجال	الدليل الكميّ (الاستبانة)	الدليل النوعيّ (المقابلات)	مستوى التقارب (Convergence)	التفسير / الاستنتاج المشترك
التحديات	حصلت فقرة (11) "صعوبة محاكاة الأعطال الفيزيائية" على متوسط حسابي مرتفع **(4.21)**.	**اقتباس الخبير (خ.ع):** "**المهارة** الوحيدة التي سأبقى قلقًا بشأنها هي مهارة التشخيص واستكشاف الأخطاء الفيزيائية وإصلاحها".	**تقارب تام (High Convergence)** كلا الأداتين أشارتا لنفس النقطة بدقة عالية.	هناك إجماع (كمي ونوعيّ) على أن **الفجوة الحسية** هي العائق البيداغوجي الأكبر، وليست مجرد مشكلة تقنية عابرة.
الآثار المتوقعة	حصلت فقرة "توفير بيئة تعليمية آمنة" على المرتبة الأولى بمتوسط **(4.62)**.	**اقتباس الخبير (ع.ق):** "القدرة على التجريب والابتكار في بيئة آمنة... دون خوف من إتلاف معدات باهظة الثمن".	**تقارب تام (High Convergence)** الأمان هو المحفز الأول في كلا الأداتين.	عامل **الأمان** هو المحفز الأول للتبني، خاصة في تخصص الكهرباء والتحكم الذي ينطوي على مخاطر.
واقع التوظيف	جاء المتوسط العام لواقع التوظيف بدرجة "متوسطة" بمتوسط حسابي (3.24).	**اقتباس الإداري (م.خ):** "يمكن وصف الوضع بأنه تشجيع بدون تمكين".	**تقارب تفسيري** (Interpretive (Convergence الرقم المتوسط فسرته المقابلة بأنه صراع بين رغبة (تشجيع) وعجز (بلا تمكين).	الواقع "المتوسط" ناتج عن صراع بين **مبادرات فردية** (من الأسفل) و**قصور في الدعم المؤسسي** (من الأعلى).

تعقيب الباحثة حول تحقيق "المصداقية:"

من خلال عملية "التحقق من قبل المشاركين"، المدعومة بالأدلة الوثائقيّة (الصور والمراسلات) تأكدت الباحثة من أن تفسيراتها لم تخرج عن المعنى الذي قصده الخبراء. ومن خلال "مصفوفة التثليث"، أثبتت الدراسة أن النتائج ليست وليدة أداة واحدة قد تكون متحيزة، بل هي نتائج راسخة ظهرت في الأرقام (الاستبانة) وأكدتها الكلمات (المقابلات)، مما يمنح الدراسة درجة عالية من المصداقية والثقة العلمية (Trustworthiness).

ملحق (ص): موثوقيّة الأداة النوعيّة – أدلة تحقيق "قابلية النقل– (Transferability)"

استنادًا إلى إجراءات الدراسة لتحقيق معيار "**قابلية النقل (Transferability)**" في الشق النوعيّ، وفقًا لنموذج (Guba & Lincoln, 1985)، والذي يوازي مفهوم (الصدق الخارجي – External Validity) أو إمكانية "التعميم – Generalizability" في البحث الكميّ، ويهدف إلى تحديد مدى إمكانية تطبيق نتائج الدراسة على سياقات أو مجموعات أخرى مشابهة ,.Kakar et al (2023, pp. 155–157, 164–165). تقدم الباحثة في هذا الملحق وصفًا غنيًا ومفصلًا (Thick Description)لسياق الدراسة وخصائص العينة المشاركة. يهدف هذا الوصف إلى تزويد القارئ بقاعدة بيانات وصفيّة تُمكنه من إجراء مقارنة بين سياق هذه الدراسة، وسياقه الخاص لتحديد مدى إمكانية الاستفادة من نتائج هذه الدراسة.

أولًا: وصف السياق العام للدراسة (The Study Context)

- **الموقع الجغرافي والمؤسسي:** أُجريت الدراسة في مؤسسات التعليم العالي والتقني في الضفة الغربية – فلسطين. شملت الجامعات التقليدية والكليات التقنية المتوسطة(Polytechnics) التي تطرح برامج هندسية (هندسة كهربائية، ميكاترونيكس، أتمتة صناعية).
- **السياق الزمني (Temporal Context):** نُفذت الدراسة خلال العام الأكاديمي (2025/2024)، وهي فترة تتسم بتسارع التحول الرقمي ما بعد جائحة كورونا، والظروف غير المستقرة سياسيًا التي مرت بها البلاد، مما أدى إلى زيادة التوجه نحو التعليم الهجين.
- **الظروف المحيطة (Contextual Conditions):** جُمِعَت البيانات في ظل ظروف تتميز بـ:

1. محدودية الموارد المالية في الجامعات، مما يجعل تحديث مختبرات المتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة PLC المادية أمرًا صعبًا ومكلفًا.
2. تحديات التنقل والوصول الفيزيائي للجامعات في بعض الأوقات بسبب الظروف السياسية، مما عزز الحاجة للحلول الافتراضيّة والتعليم عن بعد.

- **البُنية التحتية التقنيّة:** تفاوتت البنية التحتية بين مختبرات حديثة مجهزة بأحدث الأجهزة والمتحكمات المنطقيّة القابلة للبرمجة، وبين مختبرات تعتمد على أجهزة غير حديثة، مع وجود تفاوت في سرعات الإنترنت وتوفر أجهزة الحاسوب الشخصية للطلبة.

ثانيًا: بطاقات التعريف – (Participant Profiles) نماذج من عينة المشاركين

فيما يلي نماذج تفصيلية لثلاث فئات رئيسية من الخبراء الذين أُجْرِيَت المقابلات معهم؛ إذ وُثِّقَت خصائصهم وسياقاتهم في الجداول من (1–ص) إلى (3–ص). تعكس هذه الجداول التنوع في العينة وتوفر سياقًا غنيًا لفهم خلفياتهم التي انطلقت منها آراؤهم:

الجدول (1–ص): بطاقة تعريف الخبير الأكاديمي (المُستخدم للمختبر الافتراضيّ)

يمثل هذا النموذج الفئة التي تبنت التقنية بمبادرة فردية (Bottom–up).

البند	الوصف التفصيلي (Thick Description)
الرمز	الخبير م. أ. ع.
الصفة الوظيفية	أستاذ مساعد في هندسة الميكاترونيكس.
الخبرة	12 سنة في تدريس مساقات التحكم والأتمتة الصناعية.
السياق التعليمي	يعمل في جامعة تركز على الجانب التطبيقي (hands–on) يواجه مشكلة الأعداد الكبيرة في الشعبة الدراسية (30+ طالب) وقلة وحدات الـ PLC المتاحة (وحدة واحدة لكل 4 طلاب).
طبيعة الاستخدام	يستخدم برنامج (Factory I/O) وبرنامج (TIA Portal) منذ 5 سنوات. بدأ الاستخدام كحل اضطراري أثناء جائحة كورونا، ثم اعتمده كجزء أساسي من المساق للتحضير القبلي، ولعمل المشاريع الخاصة بالتقويم في المساق.
التوجه الفكري	يؤمن بـ "التكامل"؛ يرى أن المحاكاة ممتازة لتعليم "المنطق البرمجي" لكنها لا تغني عن التوصيل المادي.

الجدول (2–ص): بطاقة تعريف الخبير الأكاديمي (غير المُستخدم / المتحفظ)

يمثل هذا النموذج الفئة التي تركز على الجودة البيداغوجية والمهارات اليدوية التقليدية.

البند	الوصف التفصيلي (Thick Description)
الرمز	الخبير ع. خ.
الصفة الوظيفية	محاضر في كلية تقنيّة.
الخبرة	15سنة، مع خبرة في العمل الميداني الصناعي أثناء التدريس.
السياق التعليمي	يعتمد كليًا على المختبرات المادية (Physical Labs). يرى أن سوق العمل الفلسطيني يتطلب مهندسًا بمهارات "فني (Technician–Engineer)" قادر على استخدام الأدوات اليدوية وأجهزة القياس، وليس فقط المُبرمج، والمُحاكي للأنظمة الواقعية بشكل افتراضيّ.
الموقف من التقنيّة	لديه تحفظات بيداغوجية قوية. يخشى من "الفجوة الحسية" (Sensory Gap)، ويعتقد أن طالب المحاكاة لن يدرك مخاطر الكهرباء ولن يستطيع تشخيص الأعطال البيئية (مثل الغبار أو ارتخاء الأسلاك).

الجدول (3–ص): بطاقة تعريف الخبير الإداري (صانع القرار)

يمثل هذا النموذج الفئة المسؤولة عن الموارد والتخطيط الاستراتيجي (Top–down).

البند	الوصف التفصيلي (Thick Description)
الرمز	الخبير م. ح.
الصفة الوظيفية	رئيس قسم الهندسة الكهربائية / عميد كلية سابق.
الخبرة	20 سنة أكاديمية، منها 5 سنوات في مناصب إدارية.
السياق الإداري	مسؤول عن إعداد موازنات المختبرات السنوية. يواجه ضغوطًا لتقليل النفقات التشغيلية (OpEx). يتعامل مع شكاوى مشرفي المختبرات المتكررة حول تلف الأجهزة الحساسة (Inputs/Outputs) بسبب أخطاء توصيل الطلاب المبتدئين.
الموقف من التقنيّة	يدعم التوجه نحو المختبرات الافتراضيّة لسببين استراتيجيين: تقليل تكاليف الصيانة والهدر، استيعاب أعداد أكبر من الطلاب دون الحاجة لتوسيع المباني. يرى التحدي الرئيسي في "إدارة التغيير" ومن ثم تدريب الكادر القديم.

تعقيب الباحثة حول قابلية النقل:

من خلال تقديم هذا الوصف التفصيلي للسياق ولنماذج المشاركين، تضع الباحثة بين يدي القارئ (أو الباحث الآخر) البيانات اللازمة لاتخاذ قرار مستنير بشأن مدى انطباق نتائج هذه الدراسة على ســـياقه الخاص (مثل: جامعات في دول عربية أخرى، أو كليات تقنية تواجه تحديات مماثلة في الموارد). وبذلك فإن النتائج المتعلقة بـــ "الفجوة الحسية" و"ضعف الدعم المؤسسي" تكون قابلة للنقل إلى أي بيئة تعليمية تشترك مع هذا السياق في الخصائص والتحديات.

ملحق (ض): موثوقيّة الأداة النوعيّة – مسار المراجعة والتدقيق لتحقيق "الاعتمادية (Dependability Audit Trail)"

اســـتنادًا إلى إجراءات الدراســـة لتحقيق معيار **الاعتمادية (Dependability)** وفق نموذج (Guba & Lincoln, 1985)، الذي يُعادل مفهوم الثبات (Reliability) في البحث الكميّ، والذي يُشير إلى اتساق واستقرار عمليّة البحث النوعيّ. تلتزم الباحثة بالتوثيق الشامل للخطوات والإجراءات لإتاحة إمكانيّة تتبع مسار البحث وتقويمه من قبل مدقق خارجي، وهو ما يتحقق عبر إنشاء "سجل تدقيق" (Audit Trail)، (Kakar et al., 2023, pp. 157–158, 165–167). وتطبيقًا لذلك، يوثق هذا الملحق "مسار المراجعة" الخاص بالإجراءات المنهجية، كما هو موضح في الجدول (1–ض)؛ حيث يتضـــمن توثيقًا زمنيًا لجميع المراحل، بدءًا من اختيار العينة، مرورًا بجمع البيانات وتفريغها، وصولًا إلى التحليل والتحقق، لضمان اتساق واستقرار عملية البحث وتمكين تتبعها منطقيًا.

جدول (1–ض): سجل الإجراءات المنهجية (Procedural Audit Trail)

التاريخ	المرحلة الإجرائية	التفاصيل التنفيذية (الإجراء المُنفذ)	التبرير المنهجي (لماذا؟)
21/09/2024	**اختيار العينة (Sampling)**	اختيار العينة القصـــدية من الخبراء (أكـاديميين وإداريين) وفق معـايير الخبرة والممارسة.	لضـــمـان تنوع وجهـات النظر، والحصـــول على معلومات غنية وشـــاملة تغطي الجوانب الفنية والإدارية للظاهرة.
10/10/2024	**جمع البيانات (Data Collection)**	إجراء المقابلات الوجاهيّة، تســجيلها صـوتيًا، وتدوين الملاحظات الميدانية المرافقة.	لضـــمان حفظ البيانات الأصـــلية (Audio Record) كاملة والتقاط السـياق غير اللفظي الذي قد يؤثر في الفهم.
02/04/2025	**تفريغ البيانات (Transcription)**	تحويل التســـجيلات الصـــوتية إلى نصـوص مكتوبة حرفيًا (Verbatim) ومراجعتها مرتين.	لتهيئـة البيـانـات للتحليـل بـدقـة وضـمان عدم ضـياع أي تفصـيل أثناء النقل الكتابي.

التاريخ	المرحلة الإجرائية	التفاصيل التنفيذية (الإجراء المُنفذ)	التبرير المنهجي (لماذا؟)
25/05/2025	**إجراءات التحليل (الترميز) Analysis (coding) procedures**	تطبيق مراحل الترميز (الأولي والمحوري) واستخراج الموضوعات. (انظر مُلحق "ط" للاطلاع على مصفوفة تفصيلية توضح المنطق التحليلي المتبع في هذه الخطوة).	لضمان أن عملية التحليل تمت وفق منهجية استقرائية منظمة (Inductive Approach) تتدرج منطقيًا من الجزئيات إلى الكليات، ولربط الخطوات الإجرائية (في هذا الملحق) بالمسار الاستدلالي (في ملحق ط)، مما يثبت اتساق واستقرار المعالجة البحثية.
25/06/2025	**التحقق (التثليث) (Triangulation)**	مقارنة النتائج النوعيّة (الفجوة الحسية) مع النتائج الكمية للاستبانة	للتأكد من استقرار النتائج وثباتها عبر استخدام أدوات مختلفة (Methodological Triangulation)

تعقيب الباحثة على الاعتمادية:

يُثبت هذا الجدول أن الدراسة خضعت لدورة بحثية مُحكمة (Research Cycle) وإجراءات مستقرة وموثقة زمنيًا. هذا التوثيق يسمح لأي مدقق أو باحث آخر بتتبع مسار البحث منطقيًا من البداية للنهاية، مما يؤكد أن النتائج لم تكن وليدة الصدفة أو العشوائية، بل هي نتاج عملية منهجية ثابتة، وهو ما يحقق جوهر الاعتمادية في البحث النوعيّ.

ملحق (ط): موثوقيّة الأداة النوعيّة – مسار المراجعة والتدقيق لتحقيق "قابلية التأكيد (Confirmability Audit Trail)"

استنادًا إلى إجراءات الدراسة لتحقيق معيار **قابلية التأكيد (Confirmability)** وفق نموذج (Guba & Lincoln, 1985)، والذي يوازي مفهوم "الموضوعية – Objectivity" في البحث الكمي؛ حيث تتمحور قابليّة التأكيد في التحقق من استطاعة الباحث أن يوضّح أن استنتاجاته المستخلصة وتفسيراته نابعة من آراء المشاركين ومرتبطة مباشرة بالبيانات التي قدمها المشاركون، ومستمدة بالفعل من البيانات الأصليّة وليس من تحيزات الباحثة(Kakar et al., 2023, pp. 155-157, 164-165).

وتطبيقًا لذلك، اعتمدت الباحثة على استراتيجيّة "مسار المراجعة" (Audit Trail)؛ حيث يُقدم المُلحق توثيقًا شاملًا للمسار التحليلي للبيانات. وينقسم هذا السجل إلى جزأين:

الجزء الأول: يوثق التطور المنطقي لعملية الترميز (من البيانات الخام إلى المفاهيم)، كما هو موضح في الجدول (1-ط).

الجزء الثاني: يوثق مصفوفة الأدلة التي تربط النتائج النهائيّة بالمصادر الأصليّة، كما هو موضح في الجدول (2-ط).

وذلك بهدف نفي التحيز وتعزيز حيادية وموضوعية الدراسة.

جدول (1–ط) سجل تطور الرموز وبناء المفاهيم (Logic of Coding Evolution)

(يوضح هذا الجدول كيف تطورت الأكواد مرحليًا للوصول إلى التصور النهائي)

مرحلة التحليل	المدخلات (عينة من البيانات)	المخرجات (تطور الرمز)	المنطق التحليلي (Analytical Logic)
الترميز الأولي (Open Coding)	**خبير (خ.ع):** "الطلاب مش عارفين يلاقوا العطل بالسلك". **خبير (ي.ع):** "ما بيحس بمقاومة البرغي".	**رموز أولية:** ضعف مهارة يدوية. غياب الإحساس المادي. عجز/فشل في التشخيص الفيزيائي.	فُكِّكَت النصـــوص إلى وحدات معنوية تصـــف "النقص" الملحوظ في التجربة الافتراضيّة.
الترميز المحوري (Axial Coding)	**الرموز السابقة:** غياب الإحساس المادي. عجز/فشل في التشخيص الفيزيائي.	**فئة فرعية:** قصور المحاكاة الفيزيائية.	دُمِجَت الرموز المتشـابهة؛ حيث لوحظ أن جميعها تشـير إلى غيـاب التغـذيـة الراجعـة الحســـيـة (Haptic Feedback).
الترميز الانتقائي (Selective Coding)	**الفئات الفرعيّة:** قصور المحاكاة الفيزيائية. تخريج مهندس نظري	**الترميز النهائي:** **الفجوة الحسية** (The Sensory Gap)	اعتُمِد مصـــطلح "الفجوة الحســـية" كمظلة نظرية شـــاملة تفسر التحدي البيداغوجي الأبرز.
التوليف النهائي (Synthesis)	**النتائج المتضادة:** قوة "التفكير المنظومي". الخوف من وجود "الفجوة الحسيّة"	**التصور المقترح:** **التكامل الذكي** (Smart Integration)	بناءً على التقابل بين قوة المحاكاة (عقليًا) وقصـــورها (حسيًا)، اسْتُنْتِج أن الحل هو "التكامل" وليس الإحلال.

جدول (2–ط): مصفوفة ربط البيانات بالنتائج (Data to Result Linking Matrix)

(توضح هذه المصفوفة الدليل المادي على حيادية النتائج)

البيانات الأصليّة Raw Data	الترميز الوصفي Descriptive Coding	مسار التحليل والربط Logic of Inference	النتيجة المُستخلصة Findings	الدليل على الحيادية (عدم التحيز)
خبير (ب.أ):"**مش** لازم نلغي القديم.. لازم الطالب يبرمج عالكمبيوتر الأول، بعدين ينزل يطبق عالواقع". **خبير (ي.ش)**":استخدم الافتراضيّ عشان يفهم اللوجيك، والتقليدي عشان يتعلم يفك ويركب".	**الترميز (أ):** رفض الإحلال الكامل(Replacement) . **الترميز (ب):** تحديد وظيفة مختلفة لكل مختبر. **الترميز (ج):** التسلسل التعليمي (الافتراضيّ ← الحقيقي).	**الربط المنطقي:** الخبراء لم يختاروا "أ" أو "ب"، بل دعوا لنموذج "هجين" يوزع الأدوار ولا يلغي أحد الطرفين. العلاقة ليست "تتنافر" بل "تكامل وظيفي". كل مختبر يسد ثغرة الآخر. **الاستنتاج:** الحل يكمن في "ذكاء" الدمج وليس في التكنولوجيا نفسها.	**التصور المقترح: "التكامل الذكي(Smart Integration)"** أساس الفصل الخامس والتوصيات	التصور المقترح هو **تجميع وتنظيم** لمقترحات الخبراء الميدانيين وليس اختراعًا شخصيًا للباحثة.
إداري (س.م): "نشجعهم بالحكي، وبندعمهم لأننا حابين هذه التقنيّة، بس ما في ميزانية". **أكاديمي (ب.م)**":القسم موافق، بس الجامعة مش سهل تدفع حق الرخصة بشكل دوري.	**الترميز (أ):** تناقض بين الأقوال والأفعال. **الترميز (ب):** وجود رغبة (تشجيع) (Bottom–up) مقابل القدرة (الميزانية) وهذا يؤدي إلى صدود (Top–down). **الترميز (ج):** الدعم المعنوي متوفر، الدعم المادي غائب.	**الربط المنطقي:** وجود مفارقة (Paradox): الجميع يريد التقنية، لكن لا أحد يملك قرار "التمكين". **الاستنتاج:** المشكلة ليست في "الرفض"، بل في "العجز عن التمكين."	**تفسير الواقع: واقع يتسم بـ"تشجيع بلا تمكين" (Encouragement without Empowerment)** تفسير نتيجة السؤال الأول – الواقع	التفسير يستند إلى نقد ذاتي من المشارك الإداري نفسه بوجود هذا التناقض، مما ينفي تحيز الباحثة ضد الإدارة.

البيانات الأصليّة Raw Data	الترميز الوصفي Descriptive Coding	مسار التحليل والربط Logic of Inference	النتيجة المُستخلصة Findings	الدليل على الحيادية (عدم التحيز)
خبير (خ.ع): "يكتب الطلبة الكود بشكل صحيح، لكنهم يقفون عاجزين بالميدان أمام سلك مرتخٍ أو حساس تراكمت عليه الغبار". **خبير (ش.ع):** "المحاكاة ما بتعطيك 'رجة' الماتور ولا صوت التكة الغريبة".	**ترميز (أ):** غياب التغذية الراجعة الحسية (صوت/لمس). **ترميز (ب):** العجز عن اكتشاف الأعطال الفيزيائية البسيطة. **ترميز (ج):** نجاح برمجي مقابل نجاح غير مكتمل ميدانيًا.	**الربط المنطقي:** لاحظت الباحثة تكرار الشكوى؛ فالخبراء لا يشتكون من "فهم الكود أو التسلسل المنطقي" عند الطلاب، بل من "إحساسهم" بالآلة أو المنظومة، أي (غياب التغذية الراجعة الفيزيائيّة)، مما يؤدي إلى نقص في المهارة اليدوية. المشكلة ليست معرفية (Cognitive) بالمطلق، بل هي مشكلة **حسية**. **الاستنتاج:** البيئة الافتراضيّة تخلق "فراغًا" بين عقل الطالب ويده. هذا الفراغ هو السبب في النجاح غير المكتمل ميدانيًا.	**الترميز النهائي:** وجود "**الفجوة الحسية**" **(The Sensory Gap)** لدى الطلاب. ظهرت كنتيجة رئيسية في السؤال الثاني – التحديات	النتيجة ليست رأيًا للباحثة، بل هي **تسمية أكاديمية** لمشكلة وصفها الخبراء بكلماتهم الخاصة بشكل متكرر وإجماعي.
خبير (م.أ): "بالمختبر العادي الطالب بلتهي بتوصيل الأسلاك وبنسى كيف السيستم بشتغل. بالافتراضيّ بشوف المصنع كله بتحرك قدامه، وشو تأثير كل حركة ع كل النظام". **خبير (ح.أ):** " Factory I/O خلاه يربط بين الكود اللي كتبه وبين حركة الصناديق مثلًا".	**ترميز (أ):** تجاوز التشتت بالتفاصيل المادية (الأسلاك). **ترميز (ب):** القدرة على رؤية "الصورة الكبيرة (Big Picture)" **ترميز (ج):** الربط الفوري بين السبب (الكود) والنتيجة (الحركة).	**الربط المنطقي:** البيانات تشير لتحول في **مستوى الإدراك** من التركيز على الفهم "الجزئي (Micro)" (سلك/زر/...) في المختبر التقليدي، إلى التركيز على الفهم "الكلي (Macro)" (نظام كامل) في المختبر الافتراضيّ. **الاستنتاج:** المختبر الافتراضيّ لا يعلم البرمجة فقط، بل يعلم "هندسة النظم".	**الترميز النهائي: تنمية مهارة "التفكير المنظومي" (System Thinking)** ظهرت كنتيجة رئيسية في السؤال الثالث – الآثار المتوقعة	النتيجة مشتقة من وصف الخبراء للأثر الإيجابي الفعلي الذي لاحظوا حدوثه لدى طلابهم، مدعومة بتطابقها مع الأدبيات.

تعقيب الباحثة حول تحقيق "قابلية التأكيد":

من خلال هذا التوثيق المزدوج (تطور الرموز في الجدول الأول، ومصـــفوفة الأدلة في الجدول الثاني)، تثبت الدراسة وجود "**سلسلة أدلة (Chain of Evidence)**" متصلة وغير منقطعة. حيث توضح الجداول، وخاصة الجدول (2–ط)؛ أن النتائج التي خَلُصَت إليها في فصول الدراسة (العمود الرابع) لها جذر موثق في اقتباسات المشاركين المباشرة (العمود الأول)، وأنها استُنْبِطَت عبر منطق تحليلي واضح (العمود الثالث). هذا التوثيق ينفي أي احتمالية للتحيز الشخصي (العمود الخامس)، ويؤكد أن النتائج هي انعكاس أمين وموضـوعي لآراء "خبراء المجال" كما رُصِـدَت، وليسـت نتاجًا لتحيزات الباحثة، مما يحقق درجة عالية في المصداقية والموضوعية العلميّة للدراسة.